

دليل المهندس الإلكتروني

• المرجع السريع في مفاهيم الدارات والقوانين الإلكترونية وفي الواحدات والثوابت والرموز وعوامل التحويل



إعداد المهندس عمّار عريان


منتدى إقراء الثقافي

- الطبعة الأولى 2003

- **الناشر: شعاع للنشر والعلوم**

المحافظة - شارع القاهرة

تلفاكس : 2643545 (21) 00963

هاتف : 2643546 (21) 00963

سورية ـ حلب

ص.ب 7875

لمزيد من المعلومات وللحصول على كتب شعاع للنشر والعلوم

يرجى زيارة موقعنا على الانترنت http://www.raypub.com

البريد الالكتروني للقراء info@raypub.com

البريد الالكتروني لدور النشر والموزعين raymail@raypub.com

دليل

المهندس الإلكتروني

إعداد

المهندس عمار عريان

أَن تَتْعَبَ في البِرِّ فَإِنَّ التَّعَبَ يَزُولُ، والبِرُّ يَبْقَى

الإمام علي بن أبي طالب

رضي الله عنه

توطئة

يعد هذا الكتاب مرجعاً سريعاً للقوانين، والواحدات، والثوابت، والرموز، وعوامل التحويل التي يستخدمها مهندسو، وفنيو، وطلاب وهواة الإلكترونيات. لقد تم بذل مجهود كبير لترتيب محتويات الكتاب بشكل منطقي، ولعرض المعلومات بشكل موجز يفي بالحاجة.

إننا نرحب بالاقتراحات من أجل الإصدارات القادمة. ويمكنكم الاتصال بنا عبر البريد الإلكتروني info@raypub.com.

/ 1 /

الواحدات الأساسية
Fundamental Units

يحوي هذا الفصل تعاريف للواحدات الأساسية التي نجدها في علم الإلكترونيات، وفي العلوم المتعلقة به.

النظام SI — The SI System

يدعى نظام الواحدات العالمي القياسي SI (Standard International) النظام متر/كغ/ثانية MKS (Meter/Kilogram/Second). ويعرّف هذا النظام سبعة مقادير تظهر في الطبيعة. راجع الفصل الثاني للتحويل من وإلى الواحدات الأخرى.

الانزياح — Displacement

يكافئ المتر الواحد (1 m) 1.65076373×10^{6} طول موجة الإشعاع في الخلاء، والناتج عن الانتقال بين مستويين من ذرة Krypton-86. وكان يعرف سابقاً على أنه 10^{-7} من المسافة بين القطب الجغرافي الشمالي وخط الاستواء، مقاساً على سطح الأرض. يتم تمثيل الانزياح في المعادلات باستخدام أحد الحرفين الصغيرين d أو s.

Mass — الكتلة

واحد كيلو غرام (1 kg) هو كتلة 1000 سنتمتر مكعب (1×10^3 cm^3) من الماء السائل النقي في درجة الحرارة التي تقابل كثافته العظمى (تقريباً 281 درجة كلفن). ويتم تمثيل الكتلة في المعادلات باستخدام الحرف الصغير m.

Time — الزمن

واحد ثانية (1 s) هي $1/86400 = 1.1574 \times 10^{-5}$ جزء من اليوم الشمسي. وتعرف أيضاً بأنها الزمن اللازم لانتشار حزمة ضوء مرئي عبر مسافة 2.99792×10^8 متر في الخلاء. ويتم تمثيل الزمن في المعادلات باستخدام الحرف الصغير t.

Temperature — درجة الحرارة

واحد درجة كلفن ($1\ ^0K$) هي 3.66086×10^{-3} جزء من الفرق بين الصفر المطلق ونقطة تجمد الماء النقي عند درجة الحرارة والضغط الجوي المعياريين. ويتم تمثيل درجة الحرارة في المعادلات باستخدام الحرف الكبير T.

Electric Current — التيار الكهربائي

واحد أمبير (1 A)، يمثل حركة 6.24×10^{18} من حوامل الشحنة (عادةً الإلكترونات) التي تجتاز نقطة ثابتة محددة من ناقل كهربائي خلال زمن 1 ثانية. ويتم تمثيل التيار في المعادلات بواسطة الحرف الكبير I.

Luminous Intensity — شدة الإضاءة

واحد شمعة (1 cd)، تمثل إشعاع سطح مساحته 1.667×10^{-6} m^2 من جسم أسود عند درجة تجمد البلاتينيوم النقي. ويتم تمثيل شدة الإضاءة في المعادلات باستخدام أحد الحروف الكبيرة التالية: L, I, F, B.

كمية المادة Material quantity

واحد مول (1 mol) هو عدد الذرات في 0.012 kg من المادة Carbon-12 (الكربون النظير 12)، والذي يساوي تقريباً 6.022169×10^{23} (المعروف بعدد أفوكادرو). ويتم تمثيل كمية المادة في المعادلات باستخدام الحرف الكبير N.

الواحدات الكهربائية Electrical Units

تعرف الواحدات الكهربائية من أجل عدة مقادير وظواهر. وسنعرف هنا الواحدات القياسية المشتقة من الواحدات الأساسية. راجع الفصل الثاني من أجل التحويل من وإلى الواحدات الأخرى التي تمثل هذه المقادير.

وحدة الشحنة الكهربائية Unit electric charge

وحدة الشحنة الكهربائية هي الشحنة المحتواة في إلكترون واحد. وتكون هذه الشحنة محتواة أيضاً في الثقب (غياب إلكترون عن الذرة)، وفي البروتون، وفي البوزترون، وفي مضاد البروتون (anti-proton). ويتم تمثيل مقدار الشحنة في المعادلات، من وجهة نظر الشحنات الكهربائية، باستخدام الحرف الصغير e.

كمية الشحنة الكهربائية Electric charge quantity

الواحدة القياسية لكمية الشحنة الكهربائية هي **الكولون** C (Coulomb)، وهي الشحنة الكلية المحتواة في 6.24×10^{18} إلكترون. يتم تمثيل كمية الشحنة في المعادلات باستخدام الحرف الكبير Q أو الحرف الصغير q.

الطاقة Energy

واحدة النظام العالمي (SI) القياسية للطاقة هي **الجول** J (Joule). ويعبر عنها رياضياً بواسطة واحدة الكتلة مضروبة بمربع واحدة المسافة في مربع واحدة الزمن المربع:

$$1\ J = 1\ Kg \times m^2/s^2$$

يتم تمثيل الطاقة في المعادلات بواسطة الحرف الكبير E. وأحياناً يتم تمثيلها بواسطة أحد الحروف الكبيرة V, T, H.

Electromotive force القوة المحركة الكهربائية

الواحدة القياسية للقوة المحركة الكهربائية (EMF)، والتي تدعى أيضاً الكمون الكهربائي أو فرق الكمون، هي **الفولت** (V). وهي تكافئ 1 J/C. يتم تمثيل القوة المحركة الكهربائية في المعادلات باستخدام الحرف الكبير E أو V.

Resistance المقاومة

الواحدة القياسية هي **أوم** Ω (ohm). وهي تمثل المقاومة الناتجة عن مرور تيار قدره 1 A عند تطبيق قوة محركة كهربائية (EMF) قدرها 1 V. يتم تمثيل المقاومة في المعادلات باستخدام الحرف الكبير R.

Resistivity المقاومة النوعية

الواحدة القياسية للمقاومة النوعية هي **أوم–متر** (Ω × m). إذا مر تيار قدره 1 A في مادة ناقلة طولها 1 m عند تطبيق فرق كمون قدره 1 V، عندها تكون المقاومة النوعية للمادة هي 1 Ω × m. ويتم تمثيل المقاومة النوعية في المعادلات باستخدام الحرف اليوناني.

Conductance الناقلية

الواحدة القياسية للناقلية هي **سيمنس** S (siemens)، وقد كانت تدعى سابقاً **مو** (mho). رياضياً، تمثل الناقلية مقلوب المقاومة. ويتم تمثيل الناقلية في

المعادلات باستخدام الحرف الكبير G. إذا كانت R هي مقاومة عنصر مقدرة بالأوم، وكانت G هي ناقلية هذا العنصر مقدرة بواحدة السيمنس، عندها يكون:

$$G = \frac{1}{R}$$

أو

$$R = \frac{1}{G}$$

الناقلية النوعية Conductivity

الواحدة القياسية للناقلية النوعية هي سيمنس في المتر (S/m). إذا مر تيار قدره 1 A في مادة ناقلة طولها 1 m عند تطبيق فرق كمون قدره 1 V، عندها تكون الناقلية النوعية لهذه المادة هي 1 S/m. ويتم تمثيل الناقلية النوعية في المعادلات باستخدام الحرف اليوناني الصغير σ.

الاستطاعة (القدرة) Power

الواحدة القياسية للاستطاعة هي **الواط** (W)، وهي تكافئ 1 J/s. يتم تمثيل الاستطاعة في المعادلات باستخدام الحرف الكبير P أو W. وفي الدارات الكهربائية والإلكترونية التي لا تحوي ردية (reactance)، إذا كانت P هي الاستطاعة بالواط، وE هو الجهد بالفولت، وI هو التيار بالأمبير، وR هي المقاومة بالأوم، عندها يكون لدينا العلاقة التالية:

$$P = E \times I = I^2 \times R = E^2/R$$

الدور Period

الواحدة القياسية لدور التيار المتناوب (AC) هي **الثانية** s (second). تعد الثانية عملياً قيمة كبيرة، فالإشارات الفعلية ذات دور من رتبة أجزاء بالألف، أو

بالمليون، أو بالبليون، أو بالتريليون من الثانية. ويتم تمثيل الدور في المعادلات بواسطة الحرف الكبير T.

التردد Frequency

الواحدة القياسية للتردد هي **الهرتز** Hz (hertz). وكانت سابقاً تستخدم واحدة **الحلقة في الثانية** cps (cycle per second). يعد الهرتز مقداراً صغيراً عملياً، ذلك لأن الإشارات الفعلية ذات ترددات من مرتبة آلاف، ملايين، بلايين، تريليونات الهرتز. ورياضياً، يمثل التردد مقلوب الدور. ويتم تمثيل التردد في المعادلات باستخدام الحرف الصغير f، أو الحرف اليوناني υ. إذا كان T هو دور إشارة ما، عندها يعطى التردد بالعلاقة التالية:

$$f = \frac{1}{T}$$

السعة Capacitance

الواحدة القياسية للسعة هي **الفاراد** F (farad)، وهي تساوي 1 C/V. يعد الفاراد مقداراً كبيراً عملياً. تكون معظم السعات، في الدارات الكهربائية والإلكترونية، ذات قيمة من رتبة أجزاء بالمليون، أو بالبليون، أو بالتريليون من الفاراد. ويتم تمثيل السعة في المعادلات باستخدام الحرف الكبير C.

التحريضية Inductance

الواحدة القياسية للتحريضية هي **الهنري** H (henry)، وتساوي 1 V × s/A. يعد الهنري مقداراً كبيراً عملياً. إذ تكون التحريضية، في الدارات الكهربائية والإلكترونية، ذات قيمة من رتبة أجزاء بالألف أو بالمليون من الهنري. ويتم تمثيل التحريضية في المعادلات باستخدام الحرف الكبير L.

الردية Reactance

الواحدة القياسية للردية هي **الأوم** Ω (ohm). ويتم تمثيل الردية في المعادلات باستخدام الحرف الكبير X. قد تكون الردية موجبة (ردية تحريضية) حيث نرمز لها بالشكل X_L، أو سالبة (ردية سعوية) حيث نرمز لها بالشكل X_C. في العلاقات التالية لدينا، f يمثل التردد بالهرتز، L تمثل التحريضية بالهنري، وC تمثل السعة بالفاراد:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

$$X_C = \frac{-1}{2 \times \pi \times f \times C}$$

الممانعة العقدية Complex Impedance

لتحديد الممانعة العقدية لدينا مكونان هما المقاومة (R) والردية (X). يتم ضرب الجزء الردي بالعدد التخيلي، المعروف بالرمز j. رياضياً، يكون 1- هو مربع العدد التخيلي j، أي:

$$j^2 = -1$$
$$j^3 = j^2 \times j = -1 \times j = -j$$
$$j^4 = j^2 \times j^2 = -1 \times -1 = 1$$

تتكرر نفس القيم من أجل قوى j الأكبر من 4. لذلك، عموماً من أجل القوة $n > 4$ الصحيحة لدينا:

$$j^n = j^{(n-4)}$$

بفرض Z هي رمز الممانعة العقدية، وR هي رمز المقاومة، وX هي رمز الردية (سواءً التحريضية أو السعوية)، عندها يكون لدينا العلاقة:

$$Z = R + jX$$

Absolute-Value Impedance الممانعة بالقيمة المطلقة

يمكن تمثيل الممانعة العقدية كشعاع في مستوي الإحداثيات المتعامدة (الديكارتية)، حيث يتم رسم المقاومة على محور السينات (المحور الأفقي) ورسم الردية على محور العينات (المحور العمودي). نسمي طول هذا الشعاع **الممانعة بالقيمة المطلقة**، والتي نرمزها بواسطة الحرف الكبير Z، ويتم تقديرها بواحدة الأوم. نتحدث عن هذه الممانعة عندما يكون $jX = 0$ فقط، أي عندما تكون الممانعة هي مقاومة صرفة $(Z = R)$. فإذا كانت Z هي الممانعة بالقيمة المطلقة عندها يكون لدينا:

$$Z = (R^2 + X^2)^{1/2}$$

نظرياً، هناك عدد لا نهائي من تراكيب R مع X التي تعطي نفس الممانعة بالقيمة المطلقة Z.

Electric field strength شدة الحقل الكهربائي

الواحدة القياسية لشدة الحقل الكهربائي هي **فولت في المتر** (V/m). يتمثل الحقل الكهربائي 1 V/m بفرق الكمون 1 V الموجود بين نقطتين تفصلهما المسافة 1 m. ويتم تمثيل شدة الحقل الكهربائي في المعادلات بواسطة الحرف الكبير E.

Electromagnetic field strength شدة الحقل الكهرومغناطيسي

الواحدة القياسية لشدة الحقل الكهرومغناطيسي (EM) هي **الواط في المتر المربع** (W/m^2). يتمثل الحقل الكهرومغناطيسي $1\ W/m^2$ بالاستطاعة 1 W الواردة بشكل عمودي على سطح مستو مساحته $1\ m^2$.

القبولية الكهربائية Electric susceptibility

الواحدة القياسية للقبولية الكهربائية هي **كولون في الفولت متر** (C/Vm). ويتم تمثيل هذا المقدار في المعادلات بواسطة الحرف اليوناني الصغير η.

السماحية Permittivity

الواحدة القياسية للسماحية هي **فاراد في المتر** (F/m). ويتم تمثيل السماحية في المعادلات بواسطة الحرف اليوناني الصغير ε.

حركية حوامل الشحنة Charge-Carrier mobility

الواحدة القياسية لحركية حوامل الشحنة، وتسمى أيضاً حركية الحوامل أو الحركية فقط، هي **المتر المربع في الفولت ثانية**، أو باختصار ($m^2/V\times s$). يتم تمثيل الحركية في المعادلات بواسطة الحرف اليوناني الصغير μ.

الواحدات المغناطيسية Magnetic Units

سنتحدث في الفقرات التالية عن الواحدات المغناطيسية. راجع الفصل الثاني من أجل التحويل من وإلى الواحدات الأخرى التي تعبر عن هذه المقادير.

التدفق المغناطيسي Magnetic flux

الواحدة القياسية للتدفق المغناطيسي هي **الويبر** Wb (Weber)، وهي بالتعريف 1 V×s. وتعتبر مقداراً كبيراً عملياً، وهي تكافئ 1 A×H حيث تمثل مرور تيار كهربائي مستمر قدره 1 A في ملف (Coil) ذي تحريضية قدرها 1 H. يتم تمثيل التدفق المغناطيسي في المعادلات بواسطة الحرف اليوناني الكبير Φ.

Magnetic flux density كثافة الحقل المغناطيسي

الواحدة القياسية لكثافة الحقل المغناطيسي، والذي يتم تمثيله بواسطة الحرف الكبير B، هي **التسلا** T (tesla) والتي تكافئ $1\ Wb/m^2$. نتحدث أحياناً عن كثافة الحقل المغناطيسي وفق عدد خطوط التدفق في واحدة المساحة، وهو مصطلح غير دقيق.

Magnetic field intensity شدة الحقل المغناطيسي

واحدة شدة الحقل المغناطيسي القياسية هي **أورستد** Oe (oersted)، وهي تكافئ 79.6 A/m. يتم تمثيل شدة الحقل المغناطيسي في المعادلات بواسطة الحرف الكبير H.

Magnetic pole force قوة القطب المغناطيسي

الواحدة القياسية لقوة القطب المغناطيسي هي **أمبير–متر** ($A \times m$). ويتم تمثيل قوة القطب المغناطيسي في المعادلات بواسطة الحرف الصغير p أو الحرف الكبير P.

Magnetomotive force القوة المحركة المغناطيسية

الواحدة القياسية للقوة المحركة المغناطيسية، التي نرمز لها بالحرف الكبير F، هي **أمبير في اللفة** $A \times T$ (ampere-turn). تنتج هذه القوة عن مرور تيار مستمر قدره 1 A في لفة واحدة من ملف ذي نواة هوائية. ولا تتعلق القوة المحركة المغناطيسية بنصف قطر الملف.

Reluctance الممانعة المغناطيسية

تشكل الممانعة المغناطيسية في نظام SI، التي نرمز لها بواسطة الحرف الكبير R، المقابل المغناطيسي للمقاومة الكهربائية. واحدة الممانعة المغناطيسية في نظام

SI هي **أمبير- لفة في الويبر** (A × T/Wb). وربما تستخدم واحدة الجملة السغثية CGS (ثانية - غرام - سم) بشكل أوسع، وهي **ريل** (rel)، والتي تكافئ جلبيرت في الماكسويل.

النفوذية Permeability

تعبر النفوذية، التي نرمز لها بواسطة الحرف اليوناني الصغير μ، في نظام SI عن مدى تجميع المادة للتدفق المغناطيسي. واحدة النفوذية في نظام SI هي **تسلا- متر في الأمبير** (T × m/A). وقد تستخدم واحدة نظام cgs بشكل أوسع، وهي **غوص في أورستد** G/Oe (gauss per oersted).

قوة المغنطة Magnetizing force

واحدة قوة المغنطة، التي نرمز لها بالحرف الكبير H، في نظام SI هي **أمبير-لفة في المتر** (A × T/m). أحياناً، نعبر عن هذا المقدار بواحدة الأورستد (Oe).

الربح والضياع Gain and Loss

يقاس ربح الإشارة (التضخيم) وضياع الإشارة (التخميد) بالواحدة اللوغاريتمية التي تدعى **ديسيبل** dB (decibels). ويتم تمثيل الربح في المعادلات بواسطة الحرف الكبير G، بينما يتم تمثيل الضياع بالحرف الكبير L.

بالنسبة للجهد For Voltage

بفرض أن رمز جهد الدخل لدارة أو نظام ما هو E_{in}، وجهد الخرج هو E_{out}. وبفرض أن E_{in}، E_{out} مقاسان بنفس الواحدة، وأن ممانعة الدخل تساوي ممانعة الخرج. يعطى عندها ربح الجهد بالديسيبل (G_{VdB}) بالعلاقة التالية:

$$G_{VdB} = 20 \times Log_{10} (E_{out}/Ein)$$

أما ضياع الجهد بالديسيبل (L_{VdB}) فيساوي عكس الربح:

$$L_{VdB} = -G_{VdB} = 20 \times Log_{10} (E_{in}/E_{out})$$

بالنسبة للتيار For Current

بفرض أن رمز تيار الدخل لدارة أو نظام ما هو I_{in}، وتيار الخرج هو I_{out}. وبفرض أن I_{in}، I_{out} مقاسان بنفس الواحدة، وأن ممانعة الدخل تساوي ممانعة الخرج. عندها يعطى ربح التيار (G_{cdB}) بالعلاقة:

$$G_{CdB} = 20 \times \log_{10} (I_{out} / I_{in})$$

أما ضياع التيار بالديسيبل (L_{CdB}) فهو عكس الربح:

$$L_{CdB} = - G_{CdB} = 20 \times \log_{10} (I_{in} / I_{out})$$

بالنسبة للإستطاعة For Power

بفرض أن رمز استطاعة الدخل هو P_{in}، ورمز استطاعة الخرج P_{out}. وبفرض أن P_{in}، P_{out} مقاسان بنفس الواحدة، عندها يعطى ربح الاستطاعة بالديسيبل (G_{PdB}) بالعلاقة:

$$G_{PdB} = 10 \times Log_{10} (P_{out} / P_{in})$$

أما ضياع الاستطاعة بالديسيبل (L_{PdB}) فيساوي عكس الربح:

$$L_{PdB} = - G_{PdB} = 10 \times Log_{10} (P_{in} / P_{out})$$

الوحدات المتنوعة الأخرى Miscellaneous Units

تستخدم الوحدات التالية من حين لآخر في الإلكترونيات. راجع الفصل الثاني من أجل التحويلات من وإلى الوحدات الأخرى.

المساحة Area

الواحدة القياسية للمساحة هي **المتر المربع** (m^2). ويتم تمثيل المساحة في المعادلات بواسطة الحرف الكبير A.

الحجم Volume

الواحدة القياسية للحجم هي **المتر المكعب** (m^3). ويتم تمثيل الحجم في المعادلات بواسطة الحرف الكبير V.

الزاوية المستوية Plane angular measure

الواحدة القياسية للزاوية المستوية هي **الراديان** (rad). إنها الزاوية التي يحدها قوس من محيط الدائرة طوله يساوي نصف قطر هذه الدائرة. ويتم تمثيل الزوايا في المعادلات بواسطة الحرف اليوناني الصغير ϕ أو θ.

الزاوية الصلبة Solid angular measure

الواحدة القياسية للزاوية الصلبة هي **الستيراديان** (sr). وتتمثل الزاوية 1 sr بواسطة مخروط رأسه في مركز كرة، ويتقاطع مع سطح الكرة بسطح مساحته تساوي إلى مربع نصف قطر الكرة.



السرعة Velocity

الواحدة القياسية للسرعة الخطية (speed) هي **متر في الثانية** (m/s). تتطلب واحدة السرعة معاملين هما: السرعة الخطية (speed) والاتجاه. حيث يعطى الاتجاه بالراديان بالدوران مع عقارب الساعة من الشمال الجغرافي لسطح الأرض، وبعكس عقارب الساعة من محور X الموجب في مستوي الإحداثيات XY. أما في الفراغ، فيتم تحديد الاتجاه في الإحداثيات المتعامدة، أو الكروية، أو الأسطوانية. يتم تمثيل السرعة (Velocity) والسرعة السلمية (Speed) في المعادلات بالحرف الصغير v.

السرعة الزاوية Angular Velocity

الواحدة القياسية للسرعة الزاوية هي **راديان في الثانية** (rad/s). ويتم تمثيل السرعة الزاوية في المعادلات بواسطة الحرف اليوناني ω.

التسارع Acceleration

الواحدة القياسية للتسارع هي **متر في الثانية المربعة** (m/s^2). ويتم تمثيل التسارع الخطي في المعادلات بواسطة الحرف الصغير a.

التسارع الزاوي Angular acceleration

الواحدة القياسية للتسارع الزاوي هي **راديان في الثانية المربعة** (rad/s^2). ويتم تمثيل التسارع الزاوي في المعادلات بواسطة الحرف اليوناني الصغير α.

القوة Force

الواحدة القياسية للقوة هي **نيوتن** (N). وهي تمثل الدفع اللازم لتحريك كتلة قدرها 1 kg بتسارع خطي قدره $1\ m/s^2$. ويتم تمثيل القوة في المعادلات بواسطة الحرف الكبير F.

/ 2 /

التحويلات والثوابت

Conversions and Constants

يحوي هذا الفصل معلومات عامة عن التحويلات بين الواحدات الأساسية (التي تحدثنا عنها في الفصل الأول)، والواحدات غير القياسية الأقل شهرة التي تخص نفس المقادير. سنشير أيضاً إلى الثوابت الفيزيائية، الكهربائية، الكيميائية.

محددات المضاعفة — Prefix Multipliers

يمكن التعبير عن أي واحدة على شكل واحدات أصغر أو أكبر، كمضاعف أو كجزء من الواحدة الأساسية. تعطى هذه المضاعفات قيماً قياسية وأسماء محددة. تمثل هذه المضاعفات العشرية (الرفع للقوة 10) ترتيب القيمة وفق الأساس 10 (نظام العد العشري). وهي تستخدم في الإلكترونيات التشابهية وفي العلوم الأساسية الأخرى. فيما تمثل المضاعفات الثنائية (الرفع للقوة 2) ترتيب القيمة وفق الأساس 2 (نظام العد الثنائي). وهي تستخدم في الإلكترونيات الرقمية وعلوم الحاسب. يسرد الجدول 2-1 أسماء ورموز المضاعفات لكلا نظامي العد.

الجدول 2-1: محددات المضاعفة واختصاراتها

المحدد	الرمز	النظام العشري	النظام الثنائي
yocto-	y	10^{-24}	2^{-80}
zepto-	z	10^{-21}	2^{-70}
atto-	a	10^{-18}	2^{-60}
femto-	f	10^{-15}	2^{-50}
pico-	p	10^{-12}	2^{-40}
nano-	n	10^{-9}	2^{-30}
micro-	μ أو mm	10^{-6}	2^{-20}
milli-	m	10^{-3}	2^{-10}
centi-	c	10^{-2}	-
deci-	d	10^{-1}	-
-	-	10^{0}	2^{0}
deka-	da أو D	10^{1}	-
hecto-	h	10^{2}	-
kilo-	K أو k	10^{3}	2^{10}
mega-	M	10^{6}	2^{20}
giga-	G	10^{9}	2^{30}
tera-	T	10^{12}	2^{40}
peta-	P	10^{15}	2^{50}
exa-	E	10^{18}	2^{60}
zetta-	Z	10^{21}	2^{70}
yotta-	Y	10^{24}	2^{80}

نظم الواحدات البديلة Alternative Unit Systems

يعتبر النظام SI للواحدات النظام الأكثر انتشاراً واستخداماً. لكن ومع ذلك، توجد هناك نظم أخرى تستخدم أحياناً. ولعلّ أكثر هذه النظم شيوعا

هو النظام سنتيمتر/غرام/ثانية cgs ‏(Centimeter/Gram/Second)، والنظام الإنكليزي قدم/رطل/ثانية (Foot/Pound/Second).

تحويلات واحدات SI — SI Units Conversions

يبين الجدول 2.2 قواعد التحويل المتعلقة بواحدات نظام SI المشروحة في الفصل الأول، وذلك من وإلى الواحدات المختلفة. يحوي العمود الأول الواحدات المراد التحويل منها، بينما يحوي العمود الثاني الواحدة التي سيتم التحويل إليها. يبين العمود الثالث الأعداد التي يجب ضرب الواحدات في العمود الأول بها للحصول على الواحدات في العمود الثاني. أما العمود الرابع، فيبين الأعداد التي يجب ضرب الواحدات في العمود الثاني بها للحصول على الواحدات في العمود الأول.

الجدول 2.2: تحويلات واحدات النظام SI

لتحويل	إلى	الضرب بـ	التحويل المعاكس الضرب بـ
متر (m)	أنغستروم	10^{10}	10^{-10}
متر (m)	نانومتر	10^{9}	10^{-9}
متر (m)	مكرومتر	10^{6}	10^{-6}
متر (m)	ميليمتر	10^{3}	10^{-3}
متر (m)	سنتيمتر	10^{2}	10^{-2}
متر (m)	إنش	39.37	0.02540
متر (m)	قدم	3.281	0.3048
متر (m)	ياردة	1.094	0.9144
متر (m)	كيلومتر	10^{-3}	10^{3}
متر (m)	ميل نظامي (بري)	6.214×10^{-4}	1.609×10^{3}

لتحويل	إلى	الضرب بـ	التحويل المعاكس الضرب بـ
متر (m)	ميل بحري	5.397×10^{-4}	1.853×10^{3}
متر (m)	ثانية ضوئية	3.336×10^{-9}	2.998×10^{8}
متر (m)	الواحدة الفلكية (AU)	6.685×10^{-12}	1.496×10^{11}
متر (m)	سنة ضوئية	1.057×10^{-16}	9.461×10^{15}
متر (m)	بارسيك (PC)	3.241×10^{-17}	3.085×10^{16}
كيلو غرام (kg)	واحدة الكتلة الذرية (amu)	6.022×10^{26}	1.661×10^{-27}
كيلو غرام (kg)	نانو غرام	10^{12}	10^{-12}
كيلو غرام (kg)	ميكرو غرام	10^{9}	10^{-9}
كيلو غرام (kg)	ميلي غرام	10^{6}	10^{-6}
كيلو غرام (kg)	غرام	10^{3}	10^{-3}
كيلو غرام (kg)	أوقية	35.28	0.02834
كيلو غرام (kg)	رطل	2.205	0.4535
كيلو غرام (kg)	طن إنكليزي	1.103×10^{-3}	907.0
ثانية (s)	دقيقة	0.01667	60.00
ثانية (s)	ساعة	2.778×10^{-4}	3.600×10^{-3}
ثانية (s)	يوم	1.157×10^{-5}	8.640×10^{4}
ثانية (s)	سنة	3.169×10^{-8}	3.156×10^{7}
ثانية (s)	قرن	3.169×10^{-10}	3.156×10^{9}
ثانية (s)	ألفية	3.169×10^{-11}	3.156×10^{10}
درجة كلفن (°k)	درجة سيلزيوس (°C)	طرح 273	إضافة 273

لتحويل	إلى	الضرب بـ	التحويل المعاكس الضرب بـ
درجة كلفن (°k)	درجة فهرنهايت (°F)	ضرب بـ 1.80 ثم طرح 459	ضرب بـ 0.556 ثم إضافة 255
درجة كلفن (°k)	درجة رانكن (°R)	1.80	0.556
أمبير (A)	حوامل شحنة في الثانية	6.24×10^{18}	1.60×10^{-19}
أمبير (A)	ستات أمبير (statA)	2.998×10^{9}	3.336×10^{-10}
أمبير (A)	نانو أمبير	10^{9}	10^{-9}
أمبير (A)	ميكرو أمبير	10^{6}	10^{-6}
أمبير (A)	آب أمبير (abA)	0.10000	10.000
أمبير (A)	ميلي أمبير	10^{3}	10^{-3}
شمعة (cd)	ميكرو واط في الستراديان (MW/sr)	1.464×10^{-3}	6.831×10^{-4}
شمعة (cd)	ميلي واط في الستراديان (mW/sr)	1.464	0.6831
شمعة (cd)	لومن في الستراديان (lum/sr)	مطابق	مطابق
شمعة (cd)	واط في الستريديان (mW/sr)	1.464×10^{-3}	683.1
مول (mol)	كولون (c)	9.65×10^{4}	1.04×10^{-5}

تحويل الواحدات الكهربائية

Electrical Unit Conversions

يبين الجدول 2.3 قواعد تحويل الواحدات الكهربائية المعرفة في الفصل الأول، وذلك من وإلى الواحدات المختلفة. يحوي العمود الأول الواحدات المراد التحويل منها، بينما يحوي العمود الثاني على الواحدة التي سيتم التحويل إليها. يبين العمود الثالث الأعداد التي يجب ضرب الواحدات في العمود الأول بها للحصول على الواحدات في العمود الثاني. أما العمود الرابع، فيبين الأعداد التي يجب ضرب الواحدات في العمود الثاني بها للحصول على الواحدات في العمود الأول.

الجدول 2.3: تحويل الواحدات الكهربائية

لتحويل	إلى	الضرب بـ	التحويل المعاكس الضرب بـ
وحدة الشحنة الكهربائية	كولون (C)	1.60×10^{-19}	6.24×10^{18}
وحدة الشحنة الكهربائية	أب كولون (abc)	1.60×10^{-20}	6.24×10^{19}
وحدة الشحنة الكهربائية	ستات كولون (stat C)	4.80×10^{-10}	2.08×10^{9}
كولون (C)	وحدة الشحنة الكهربائية	6.24×10^{18}	1.60×10^{-19}
كولون (c)	ستات كولون	2.998×10^{9}	3.336×10^{-10}
كولون (c)	أب كولون	0.1000	10.000
جول (J)	إليكترون فولت (eV)	6.242×10^{18}	1.602×10^{-19}
جول (J)	الأرج (erg)	10^{7}	10^{-7}
جول (J)	شمعة (cal)	0.2389	4.1859
جول (J)	واحدة الحرارة الإنكليزية (Bto)	9.478×10^{-4}	1.055×10^{3}
جول (J)	واط ساعي (w.h)	2.778×10^{-4}	3.600×10^{3}

لتحويل	إلى	الضرب بـ	التحويل المعاكس الضرب بـ
جول (J)	كيلو واط ساعي (kw.h)	2.778×10^{-7}	3.600×10^{6}
فولت (V)	أب فولت	10^{8}	10^{-8}
فولت (V)	ميكرو فولت	10^{6}	10^{-6}
فولت (V)	ميلي فولت	10^{3}	10^{-3}
فولت (V)	سترات فولت	3.336×10^{-3}	299.8
فولت (V)	كيلو فولت	10^{-3}	10^{3}
فولت (V)	ميغا فولت	10^{-6}	10^{6}
أوم (Ω)	آب أوم	10^{9}	10^{-9}
أوم (Ω)	ميغا أوم	10^{-6}	10^{6}
أوم (Ω)	كيلو أوم	10^{-3}	10^{3}
أوم (Ω)	ستات أوم	1.113×10^{-12}	8.988×10^{11}
سيمنس (S)	ستات سيمنس	8.988×10^{11}	1.113×10^{-12}
سيمنس (S)	ميكرو سيمنس	10^{6}	10^{-6}
سيمنس (S)	ميلي سيمنس	10^{3}	10^{-3}
سيمنس (S)	آب سيمنس	10^{-9}	10^{9}
واط (W)	بيكو واط	10^{12}	10^{-12}
واط (W)	نانو واط	10^{9}	10^{-9}
واط (W)	ميكرو واط	10^{6}	10^{-6}
واط (W)	ميلي واط	10^{3}	10^{-3}
واط (W)	وحدة الحرارة الإنكليزية في الساعة (Btu/hr)	3.412	0.2931
أوم (Ω)	ستات أوم	1.113×10^{-12}	8.988×10^{11}
واط (W)	حصان استطاعي (hP)	1.341×10^{-3}	745.7

لتحويل	إلى	الضرب بـ	التحويل المعاكس الضرب بـ
واط (W)	كيلو واط	10^{-3}	10^{3}
واط (W)	ميغا واط	10^{-6}	10^{6}
واط (W)	جيغا واط	10^{-9}	10^{9}
هرتز (Hz)	درجة في الثانية	360.0	0.002778
هرتز (Hz)	راديان في الثانية	6.283	0.1592
هرتز (Hz)	كيلو هرتز	10^{-3}	10^{3}
هرتز (Hz)	ميغا هرتز	10^{-6}	10^{6}
هرتز (Hz)	جيغا هرتز	10^{-9}	10^{9}
هرتز (Hz)	تيرا هرتز	10^{-12}	10^{12}
فاراد (F)	بيكو فاراد	10^{12}	10^{-12}
فاراد (F)	ستات فاراد	8.898×10^{11}	1.113×10^{-12}
فاراد (F)	نانو فاراد	10^{9}	10^{-9}
فاراد (F)	ميكرو فاراد	10^{6}	10^{-6}
فاراد (F)	آب فاراد	10^{-9}	10^{9}
هنري (H)	نانو هنري	10^{9}	10^{-9}
هنري (H)	آب هنري	10^{9}	10^{-9}
هنري (H)	ميكرو هنري	10^{6}	10^{-6}
هنري (H)	ميلي هنري	10^{3}	10^{-3}
هنري (H)	ستات هنري	1.113×10^{-12}	8.898×10^{11}
فولت في المتر (V./m)	بيكو فولت في المتر	10^{12}	10^{-12}
فولت في المتر (V./m)	نانو فولت في المتر	10^{9}	10^{-9}
فولت في المتر (V./m)	ميكرو فولت في المتر	10^{6}	10^{-6}
فولت في المتر (V./m)	ميلي فولت في المتر	10^{3}	10^{-3}

لتحويل	إلى	الضرب بـ	التحويل المعاكس الضرب بـ
فولت في المتر (V./m)	فولت في القدم	3.281	0.3048
واط في المتر المربع (W/m^2)	بيكو واط في المتر المربع	10^{12}	10^{-12}
واط في المتر المربع (W/m^2)	نانو واط في المتر المربع	10^{9}	10^{-9}
واط في المتر المربع (W/m^2)	ميكرو واط في المتر المربع	10^{6}	10^{-6}
واط في المتر المربع (W/m^2)	ميلي واط في المتر المربع	10^{3}	10^{-3}
واط في المتر المربع (W/m^2)	واط في القدم المربعة	0.09294	10.76
واط في المتر المربع (W/m^2)	واط في الإنش المربع	6.452×10^{-4}	1.550×10^{3}
واط في المتر المربع (W/m^2)	واط في السنتيمتر المربع	10^{-4}	10^{4}
واط في المتر المربع (W/m^2)	واط في الميليمتر المربع	10^{-6}	10^{6}

تحويل الواحدات المغناطيسية

Magnetic Unit Conversions

يبين الجدول 2.4 قواعد تحويل الواحدات المغناطيسية المشروحة في الفصل الأول، وذلك من وإلى الواحدات المختلفة. يحوي العمود الأول الواحدات المراد التحويل منها، بينما يحوي العمود الثاني الواحدة التي سيتم التحويل إليها. يبين العمود الثالث الأعداد التي يجب ضرب الواحدات في العمود الأول بها للحصول على الواحدات في العمود الثاني. أما العمود الرابع، فيبين الأعداد التي يجب ضرب الواحدات في العمود الثاني بها للحصول على الواحدات في العمود الأول.

الجدول 2.4: تحويلات الواحدات الفناطيسية

لتحويل	إلى	الضرب بـ	التحويل المعاكس الضرب بـ
ويبر (Wb)	ماكسويل (MX)	10^{8}	10^{-8}
ويبر (Wb)	أمبير- ميكرو هنري (A.µH)	10^{6}	10^{-6}
ويبر (Wb)	أمبير - ميلي هنري (A.mH)	10^{3}	10^{-3}
ويبر (Wb)	واحدة قطبية	1.256×10^{-7}	7.96×10^{6}
تسلا (T)	ماكسويل في المتر المربع (MX/m^2)	10^{8}	10^{-8}
تسلا (T)	غوص (G)	10^{4}	10^{-4}
تسلا (T)	ماكسويل في السنتيمتر المربع (MX/cm^2)	10^{4}	10^{-4}
تسلا (T)	ماكسويل في الميليمتر المربع (MX/cm^2)	10^{2}	10^{-2}
تسلا (T)	ويبر في السنتيمتر المربع (W/cm^2)	10^{-4}	10^{4}
تسلا (T)	ويبر في الميليمتر المربع (W/m^2)	10^{-6}	10^{6}
أويستد (Oe)	ميكرو أمبير-لفة في المتر (µA.T/m)	7.96×10^{7}	1.256×10^{-8}
أويستد (Oe)	ميلي أمبير-لفة في المتر (mA.T/m)	7.96×10^{4}	1.256×10^{-5}
أويستد (Oe)	أمبير-لفة في المتر (A.T/m)	79.6	0.01256
أمبير-لفة (A.T)	ميكرو أمبير-لفة (µ.A.T/m)	10^{6}	10^{-6}
أمبير-لفة (A.T)	ميلي أمبير-لفة (mA.T/m)	10^{3}	10^{-3}
أمبير-لفة (A.T)	جلبيرت (G)	1.256	0.796

تحويل الواحدات المتنوعة الأخرى

Miscellaneous Unit Conversions

يبين الجدول 2.5 قواعد تحويل الواحدات الأخرى المشروحة في الفصل الأول، وذلك من وإلى الواحدات المختلفة. يحوي الأول الواحدات المراد التحويل منها، بينما يحوي العمود الثاني الواحدة التي سيتم التحويل إليها. يبين العمود الثالث الأعداد التي يجب ضرب الواحدات في العمود الأول بها للحصول على الواحدات في العمود الثاني. أما العمود الرابع، فيبين الأعداد التي يجب ضرب الواحدات في العمود الثاني بها للحصول على الواحدات في العمود الأول.

الجدول 2.5: تحويلات الواحدات الأخرى

لتحويل	إلى	الضرب بـ	التحويل المعاكس الضرب بـ
متر مربع (m^2)	أنغستروم مربع	10^{20}	10^{-20}
متر مربع (m^2)	نانو متر مربع	10^{18}	10^{-18}
متر مربع (m^2)	ميكرو متر مربع	10^{12}	10^{-12}
متر مربع (m^2)	ميليمتر مربع	10^{6}	10^{-6}
متر مربع (m^2)	سنتيمتر مربع	10^{4}	10^{-4}
متر مربع (m^2)	إنش مربع	1.550×10^{3}	6.452×10^{-4}
متر مربع (m^2)	قدم مربعة	10.76	0.09294
متر مربع (m^2)	فدان	2.471×10^{-4}	4.047×10^{3}
متر مربع (m^2)	هكتار	10^{-4}	10^{4}
متر مربع (m^2)	كيلو متر مربع	10^{-6}	10^{6}
متر مربع (m^2)	ميل نظامي مربع	3.863×10^{-7}	2.589×10^{6}

لتحويل	إلى	الضرب بـ	التحويل المعاكس الضرب بـ
متر مربع (m^2)	ميل بحري مربع	2.910×10^{-7}	3.434×10^{6}
متر مربع (m^2)	سنة ضوئية مربعة	1.117×10^{-17}	8.951×10^{16}
متر مربع (m^2)	بارسيك مربع (PC^2)	1.051×10^{-33}	9.517×10^{32}
متر مكعب (m^2)	أنغستروم مكعب	10^{30}	10^{-30}
متر مكعب (m^2)	نانو متر مكعب	10^{27}	10^{-27}
متر مكعب (m^2)	ميكرو متر مكعب	10^{18}	10^{-18}
متر مكعب (m^2)	ميليمتر مكعب	10^{9}	10^{-9}
متر مكعب (m^2)	سنتيمتر مكعب	10^{6}	10^{-6}
متر مكعب (m^2)	ميلي لتر	10^{6}	10^{-6}
متر مكعب (m^2)	لتر	10^{3}	10^{-3}
متر مكعب (m^2)	جالون أمريكي (gal)	264.2	3.785×10^{-3}
متر مكعب (m^2)	إنش مكعب	6.102×10^{4}	1.639×10^{-5}
متر مكعب (m^2)	قدم مكعبة	35.32	0.02831
متر مكعب (m^2)	كيلو متر مكعب	10^{-9}	10^{9}
متر مكعب (m^2)	ميل نظامي مكعب	2.399×10^{-10}	14.166×10^{9}
متر مكعب (m^2)	ميل بحري مكعب	1.572×10^{-10}	6.362×10^{9}
متر مكعب (m^2)	ثانية ضوئية مكعبة	3.711×10^{-26}	2.695×10^{25}
متر مكعب (m^2)	واحدة أنغستروم مكعبة	2.987×10^{-34}	3.348×10^{33}
متر مكعب (m^2)	سنة ضوئية مكعبة	1.181×10^{-48}	8.469×10^{47}
متر مكعب (m^2)	بارسيك مكعب	3.406×10^{-50}	2.936×10^{49}
راديان (rad)	درجة	57.30	0.01745
متر في الثانية (m/s)	إنش في الثانية	39.37	0.02540
متر في الثانية (m/s)	كيلومتر في الساعة	3.600	0.2778

لتحويل	إلى	الضرب بـ	التحويل المعاكس الضرب بـ
متر في الثانية (m/s)	قدم في الثانية	3.281	0.3048
متر في الثانية (m/s)	ميل نظامي في الساعة	2.237	0.4470
متر في الثانية (m/s)	عقدة	1.942	0.5149
متر في الثانية (m/s)	كيلومتر في الدقيقة	0.06000	16.67
متر في الثانية (m/s)	كيلومتر في الثانية	10^{-3}	10^{3}
راديان في الثانية (m/s)	درجة في الثانية	57.30	0.01745
راديان في الثانية (m/s)	دورة في الثانية	0.1592	6.283
راديان في الثانية (m/s)	دورة في الدقيقة	2.653×10^{-3}	377.0
متر في الثانية المربعة (rad/s^2)	إنش في الثانية المربعة	39.37	0.02540
متر في الثانية المربعة (rad/s^2)	قدم في الثانية المربعة	3.281	0.3048
راديان في الثانية المربعة (rad/s^2)	درجة في الثانية المربعة	57.30	0.01745
راديان في الثانية المربعة (rad/s^2)	دورة في الثانية المربعة (rv/s^2)	0.1592	6.283
راديان في الثانية المربعة (rad/s^2)	دورة في الدقيقة في الثانية (rPm/s)	2.653×10^{-3}	377.0
نيوتن (N)	دين	10^{5}	10^{-5}
نيوتن (N)	أوقية (oz)	3.597	0.2780
نيوتن (N)	رطل (lb)	0.2248	4.448

Constants الثوابت

يبين الجدول 2.6 الثوابت الفيزيائية، والكهربائية، والكيميائية الشائعة. يمكن تحويل الواحدات المستخدمة في هذا الجدول إلى الواحدات الأخرى بالعودة إلى الجداول من 2.2 حتى 2.5.

الجدول 2.6: الثوابت الفيزيائية، والكيميائية، والكهربائية الشهيرة

الرمز	القيمة	المقدار أو الظاهرة
m_{sun}	1.989×10^{30} kg	كتلة الشمس
m_{earth}	5.974×10^{24} kg	كتلة الأرض
N	6.022169×10^{23}	عدد أفوكادرو
m_{moon}	7.348×10^{22} kg	كتلة القمر
r_{sun}	6.970×10^{8} m	نصف قطر الشمس الرئيسي
c	2.99792×10^{8} m/s	سرعة انتشار الحقل الكهرومغناطيسي في الفضاء الحر
F	9.649×10^{7} C/k.mol	ثابت فاراداي
r_{earth}	6.371×10^{6} m	نصف قطر الأرض الرئيسي
	2.978×10^{4} m/s	متوسط سرعة الأرض على مدارها
e أو ε	2.718282	قاعدة اللوغاريتم الطبيعي
r_{moon}	1.738×10^{6} m	نصف قطر القمر الرئيسي
Z_0	376.70 Ω	الممانعة المميزة للفضاء الحر
	344 m/s	سرعة الصوت في الهواء الجاف عند درجة حرارة وضغط جوي قياسيين
g	9.8067 m/s^2	تسارع الجاذبية الأرضية عند سطح البحر
R_0	8.3145 J/^{0}k × mol	ثابت الغازات
σw	0.0029 m × ^{0}k	ثابت فين
c_2	0.01439 m× ^{0}k	ثابت الإشعاع الثاني
μ_0	1.257×10^{-6} H/m	نفوذية الفضاء الحر

المقدار أو الظاهرة	القيمة	الرمز
ثابت ستيفان-بولتزمان	5.6697×10^{-8} $w/m^2/^0k$	σ
ثابت الجاذبية	6.673×10^{-11} $N.m^2/kg^2$	G
سماحية الفضاء الحر	8.85×10^{-12} F/m	ε_0
ثابت بولتزمان	1.3807×10^{-23} $J/^0k$	k
ثابت الإشعاع الأول	4.993×10^{-24} J.m	c_1
كتلة جسيم إلفا في حالة الراحة	6.64×10^{-27} kg	m_α
كتلة النيترون في حالة الراحة	1.675×10^{-27} kg	m_n
كتلة البروتون في حالة الراحة	1.673×10^{-27} kg	m_p
كتلة الإلكترون في حالة الراحة	9.109×10^{-31} kg	m_e
ثابت بلانك	6.6261×10^{-34} J.s	h

/ 3 /

الترميز الرياضي

Mathematical Notification

يبين هذا الفصل الرموز الرياضية المستخدمة في الإلكترونيات، بالإضافة إلى المقادير، والمتحولات، والظواهر التي تمثلها.

الحروف الأبجدية اليونانية Greek Alphabet

يبين الجدول 3.1 أسماء ورموز الحروف اليونانية الكبيرة واستخداماتها. كما يبين الجدول 3.2 أسماء ورموز الحروف اليونانية الصغيرة واستخداماتها. أحياناً، تكون الحروف اليونانية الكبيرة أو الصغيرة مائلة، لكنها في الجدولين التاليين ليست كذلك.

الجدول 3.1: الحروف الأبجدية اليونانية الكبيرة واستخداماتها

الرمز	اسم الحرف	الاستخدام الشائع
A	ألفا	–
B	بيتا	كثافة التدفق المغناطيسي
Γ	غاما	مكافئ غاما، مجموعة دليل عام، منحني، محيط

الرمز	اسم الحرف	الاستخدام الشائع
Δ	دلتا	مكافئ دلتا، دارات AC ثلاثية الطور بدون أرضي مشترك، تزايد، متتالية فرقية، عملية لابلاس
E	إبسلون	الجهد، الطاقة
Z	زيتا	الممانعة
H	إيتا	الفعالية
Θ	ثيتا	المرتبة
I	إيوتا	التيار
K	كابا	القبولية المغناطيسية، درجة كلفن
Λ	لامدا	مجموعة دليل عام
M	ميو	التحريضية التبادلية
N	نيو	عدد أفوكادرو $(6.022169 \times 10^{23})$
Ξ	اكسي	–
O	أوميكرون	المرتبة
Π	بي	جداء، جداء غير منتهي. تطبيق على
P	رو	استطاعة
Σ	سيغما	المجموع، السلاسل، السلاسل غير المنتهية
T	تو	الثابت الزمني، درجة الحرارة
Y	أبسيلون	–
Φ	فاي	تدفق مغناطيسي، مجموعة Frattini الجزئية
X	تشي	الردية
Ψ	بسي	تدفق عازل كهربائي
Ω	أوميغا	أوم، حجم الجسم

الجدول 3.2: الحروف الأبجدية اليونانية الصغيرة واستخداماتها

الرمز	اسم الحرف	الاستخدام
α	ألفا	ربح التيار في ترانزستور ثنائي القطبية ذي تشكيلة قاعدة مشتركة، جزيئات ألفا، التسارع الزاوي، الزاوية، زاوية اتجاه، رقم مبهم كبير، معامل سلمي
β	بيتا	ربح التيار في ترانزستور ثنائي القطبية ذي تشكيلة باعث مشترك، كثافة التدفق المغناطيسي، جزيئات بيتا، الزاوية، زاوية اتجاه، رقم مبهم كبير، معامل سلمي
γ	غاما	إشعاع غاما، الناقلية الكهربائية، ثابت أويلر (Euler)، الجاذبية، زاوية اتجاه، معامل سلمي، التبادلية، دورة
δ	دلتا	المشتق، تغير مقدار ما، تقدير نقطة، تابع دعم، تابع متري، تابع مسافة، تغير تكامل ما، تحويل لابلاس
ε	إيبسلون	النفوذية الكهربائية، أساس اللوغاريتم الطبيعي (تقريباً 2.71828)، الانحراف عن المركز، الإرشاد
ζ	زيتا	معامل، ممانعة، المتحول الإحداثي في عملية التحويل
η	إيتا	النفوذية الكهربائية، معامل البطء، الفعالية، المتحول الإحداثي في عملية التحويل
θ	تيتا	زاوية، زاوية صفحة، زاوية في الإحداثيات القطبية، زاوية في الإحداثيات الاسطوانية، زاوية في الإحداثيات الكروية، بارامیتر، تطبيق تقابل
ι	إيوتا	توصيف معرف (في منطق التوقع)
κ	كابا	ثابت العزل الكهربائي، معامل الربط، تقعر
λ	لامدا	طول الموجة، ثابت قانون فين (Wien) للانزياح، النسبة، قيمة ليبسك القيمة الذاتية (الخاصة) لمصفوفة

الرمز	اسم الحرف	الاستخدام
μ	ميو	ميكرو، النفوذية المغناطيسية، معامل التضخيم، حركية حوامل الشحنة، الوسطي، بارامیتر إحصائي
ν	نيو	التردد، الممانعة المغناطيسية، بارامیتر إحصائي
ξ	اكسي	متحول الإحداثي في التحويلات
ο	أوميكرون	مرتبة
π	بي	نسبة محيط الدائرة إلى مربع نصف قطرها (تساوي تقريباً 3.14159)، راديان، التبادلية
ρ	رو	المقاومة النوعية الكهربائية، متحول يمثل زاوية، تقعر، جداء الطي، قياس متري، الكثافة
σ	سيغما	الناقلية الكهربائية، ثابت ستيفن–بولتزمان، الانحراف المعياري، التشتت، التجزيء الرياضي، التبادلية، الطبولوجيا
τ	تو	انزياح زمن–صفحة، الفتل، التجزيء الرياضي، الطبولوجيا
υ	أوبسيلون	–
φ أو ∅	فاي	زاوية، زاوية صفحة، تدفق عازل كهربائي، زاوية في الإحداثيات الكروية، تابع أويلر، التقابل، التوقع
χ	تشي	القابلية المغناطيسية، تابع مميز، تكوين جسم
ψ	بسي	زاوية، تقابل، توقع، مخطط
ω	أوميغا	سرعة زاوية، دور، معامل الاستمرارية

الرموز العامة General Symbols

يبين الجدول 3.3 لائحة بالرموز المستخدمة لتشكيل العمليات، والعلاقات، والتوصيف الرياضي المتعلق بالعلوم الفيزيائية والهندسية. وتستخدم الحروف الأبجدية أحياناً بشكل مائل.

الجدول 3.3: الرموز الرياضية العامة ومعانيها

الرمز	اسم الحرف	الاستخدام الشائع
	الفاصلة العشرية	فصل الجزء الصحيح من العدد عن الجزء الكسري
∀	موصف التعميم	تقرأ "مهما يكن"
#	علامة الجنيه	رقم، جنيه
∃	موصُف الوجود	تقرأ "يوجد على الأقل"
٪	علامة النسبة المئوية	تقرأ "جزء من المئة أو بالمئة"
‰	علامة النسبة بالميل	تقرأ "جزء من الألف أو بالميل"
&	رمز الواو	عملية AND المنطقية
@	علامة at	تقرأ "بمعدل أو بكلفة"
( )	أقواس منحنية	تضمين عناصر تعريف إحداثيات نقطة، تضمين عناصر مجموعة عناصر مرتبة، تضمين حدود مجال مفتوح
[ ]	أقواس قائمة (متوسطة)	تضمين مجموعة حدود تحتوي مجموعة أو أكثر ضمن أقواس صغيرة، تضمين عناصر صف تكافؤ
{ }	أقواس ملفوفة (كبيرة)	تضمين مجموعة حدود تحتوي مجموعة أو أكثر ضمن أقواس قائمة، تضمين عناصر مجموعة

الرمز	اسم الحرف	الاستخدام الشائع
[ ) أو ( ]	نصف قوس	تضمين حدود مجال نصف مفتوح
] [	أقواس قائمة معكوسة	تضمين حدود مجال مفتوح
[ ] أو ( )	أقواس مضخّمة	تضمين عناصر مصفوفة
*	النجمة	عملية الضرب أو عملية AND المنطقية
×	التقاطع	عملية الضرب، عملية AND المنطقية، الجداء الشعاعي لشعاعين
Π	حرف بي اليوناني الكبير (مضخّم)	جداء عدة قيم
	نقطة صغيرة	الضرب
•	نقطة كبيرة	عملية AND المنطقية، الجداء السلمي لشعاعين
+	علامة الجمع	الجمع، عملية OR المنطقية
Σ	حرف سيغما اليوناني الكبير (مضخّم)	جمع عدة قيم
,	فاصلة	تجزيء الأرقام الكبيرة وفق رتبة الآلاف، فصل العناصر التي تعرف إحداثيات نقطة، فصل عناصر مجموعة أعداد مرتبة، فصل حدود مجال ما
−	علامة الطرح	الطرح، عملية NOT المنطقية
±	علامة زائد/ناقص	تقرأ "زائد/ناقص" وتعرف مدى انحراف قيمة ما عن القيمة الاسمية
/	خط مائل	القسمة، النسبة، التناسب، فصل محددات URL لموقع web

الاستخدام الشائع	اسم الحرف	الرمز
القسمة	علامة التقسيم	$\div$
النسبة ، فصل الدقائق عن الساعات ، فصل الثواني عن الدقائق	نقطتين	
الوسطي	نقطتين مضاعفتين	
العاملي	إشارة تعجب	!
تقرأ "أقل أو يساوي"	علامة التراجح	$\leq$
تقرا "أقل من"	علامة التراجح	$<$
تقرأ "أقل بكثير من"	علامة التراجح	$\ll$
تقرأ "يساوي إلى"، تكافؤ منطقي	علامة المساواة	$=$
تقرأ "أكبر أو يساوي"	علامة التراجح	$\geq$
تقرأ "أكبر من"	علامة التراجح	$>$
تقرأ "أكبر بكثير من"	علامة التراجح	$\gg$
تقرأ "يتطابق مع"	علامة التطابق	$\cong$
تقرأ "لا يساوي"	علامة عدم المساواة	$\neq$
تقرأ "يكافئ منطقياً"	علامة التكافؤ	$\equiv$
تقرأ "يساوي تقريباً"	علامة التقريب	$\approx$
تقرأ "يتناسب مع"	–	$\propto$
تقرأ "يماثل"	خط متعرج	$\sim$
تقرأ وهلم جرا أو وما إلى ذلك	نقطة ثلاثية	
تقرأ "قابل للقسمة تماماً (بدون باقي) بواسطة"	خط عمودي	$\mid$

الرمز	اسم الحرف	الاستخدام الشائع
$\|\|$	خطان عموديان	القيمة المطلقة لمقدار ما، طويلة شعاع، المسافة بين نقطتين، الأعداد الأصلية في رقم، الطويلة
$\|$	خط عمودي (طويل)	تعيين حدود تعريف تابع
$\|\|$	خطان عموديان (طويلان)	معين مصفوفة
$\cap$	علامة التقاطع	عملية تقاطع المجموعات
$\cup$	علامة الاجتماع	عملية اجتماع المجموعات
ϕ	علامة الخلو	مجموعة لا تحوي أي عنصر (مجموعة خالية)
$\in$	علامة الانتماء	تقرأ "عنصر من"
$\notin$	علامة عدم الانتماء	تقرأ "ليس عنصراً من"
$\subset$	علامة الاحتواء	تقرأ "مجموعة جزئية من"
$\supset$	علامة الاقتضاء	تقرأ "يقتضي منطقياً"
$\subseteq$	علامة الاحتواء الجزئي	تقرأ "مجموعة محتواة جزئياً في"
$\not\subset$	علامة عدم الاحتواء	تقرأ "ليست مجموعة جزئية من"
$<$	علامة زاوية	زاوية، قيمة زاوية
$\perp$	علامة التعامد	تقرأ "عمودي على"
∇	نبلا	عملية تفاضل شعاع
$\sqrt{}$	جذر	جذر، جذر تربيعي
$\Leftrightarrow$ أو $\leftrightarrow$	سهم ثنائي	تقرأ "إذا وفقط إذا" أو "يكافئ منطقياً"
$\Rightarrow$	سهم يمين	اقتضاء منطقي
$\therefore$	ثلاث نقط	تقرأ "لذلك"

الرمز	اسم الحرف	الاستخدام الشائع
$\rightarrow$	سهم يمين	اقتضاء منطقي، التقارب
$\uparrow$	سهم علوي	تقرأ "أعلى" أو "يزيد"
$\downarrow$	سهم سفلي	تقرأ "أدنى" أو "ينقص"
∂	–	الاشتقاق الجزئي، جاكوبيان، سطح جسم
$\int$	–	التكامل
$\iint$	–	التكامل الثنائي
$\int_E$	–	تكامل ريمان
$\int_\Gamma$	–	تكامل منحني مغلق
$\iint_S$	–	تكامل سطح
$\iiint$	–	تكامل ثلاثي
$^\circ$	علامة الدرجة	زاوية بالدرجات، درجة الحرارة
∞	علامة اللانهاية	اللانهاية، عدد كبير عشوائي، مسافة بعيدة كبيرة

الدلائل العلوية والسفلية Subscripts and Superscripts

يغير الدليل السفلي معنى الواحدات، والثوابت، والمتحولات. ويوضع الدليل السفلي على يمين الحرف الأساسي (بدون فراغ)، وبحجم أصغر منه، ويكون أسفل السطر. عموماً، لا تكون الدلائل السفلية العددية مائلة، بينما قد تكون الدلائل السفلية الأبجدية مائلة أحياناً. لنأخذ بعض الأمثلة عن المقادير ذات الدلائل السفلية:

Z_0 تقرأ "Z دليل صفر"، تمثل الممانعة المميزة

R_{out} تقرأ "R دليل out"، تمثل مقاومة الخرج

X_3 تقرأ "X دليل 3"، تمثل متحولاً

يمثل الدليل العلوي الأس (الرفع إلى قوة). عادةً، تكون الدلائل العلوية عبارة عن أرقام، لكنها قد تكون أحياناً حروفاً أبجدية. نستخدم عادة النصف الثاني من الحروف الأبجدية (n حتى z) بشكل مائل، وذلك لتمثيل الأس المتحول. يكون الدليل العلوي الموضوع على يمين الحرف الأساسي (بدون فراغ)، وذا حجم أصغر منه، ويتوضع أعلى السطر. لنأخذ بعض الأمثلة عن مقادير ذات دلائل علوية:

2^3 تقرأ "اثنين مكعب"، وتمثل 2x2x2

e^x تقرأ "e قوة x"، التابع الأسي للمتحول x

$y^{½}$ تقرأ "y قوة نصف"، تمثل الجذر التربيعي للمتحول y

Scientific Notation الترميز العلمي

يستخدم الترميز العلمي لتمثيل القيم العددية الكبيرة، وهو يسهل أيضاً العمليات الحسابية بين الأعداد الضخمة. يكتب عدد ما وفق الترميز العلمي كما يلي:

$$m\,.\,n \times 10^z$$

حيث m (على يسار الفاصلة العشرية) هو رقم من المجموعة {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}. n (على يمين الفاصلة العشرية) هو عدد صحيح موجب. أما z (قوة الرقم 10) فهو أي عدد صحيح. لنأخذ بعض الأمثلة عن أعداد مكتوبة وفق الترميز العلمي:

$$2.56 \times 10^{6}$$
$$8.0773 \times 10^{-18}$$
$$1.000 \times 10^{0}$$

في بعض البلدان، يجب أن تكون m=0 في الترميز العلمي. وفي هذه الحالة النادرة، تكتب الأعداد السابقة كما يلي:

$$0.256 \times 10^{7}$$
$$0.80773 \times 10^{-17}$$
$$0.1000 \times 10^{1}$$

يمكن ترميز عملية الضرب بأكثر من طريقة. أي يمكن استخدام علامة النجمة (*) بدلاً عن علامة الضرب (×). وعندها، تكتب الأعداد السابقة بالشكل التالي:

$$2.56 * 10^{6}$$
$$8.0773 * 10^{-18}$$
$$1.000 * 10^{0}$$

يمكن أيضاً استخدام النقطة (.) لترميز عملية الضرب، حيث تكتب الأعداد السابقة كما يلي:

$$2.56 \,.\, 10^{6}$$
$$8.0773 \,.\, 10^{-18}$$
$$1.000 \,.\, 10^{0}$$

أحياناً، يتطلب الأمر التعبير عن الأعداد وفق الترميز العلمي باستخدام نص كامل، مثل حالة إرسال معلومات ضمن رسالة بريد إلكتروني (دون استخدام طريقة إرفاق ملف). تستخدم هذه الطريقة في الحاسبات الإلكترونية والحواسب.

يشير الحرف الكبير E إلى أن الرقم الذي يأتي بعده هو قوة. وتكتب الأرقام السابقة وفق هذه الطريقة كما يلي:

2.56E6

8.0773E-18

1.000E0

أحياناً، قد تكتب القوة (الأس) على خانتين ومع إشارة الزائد أو الناقص. في هذه الحالة، تكتب الأرقام السابقة كما يلي:

2.56E+06

8.0773E-18

1.000E+00

هناك ترميز آخر يستخدم علامة النجمة للدلالة على عملية الضرب، والرمز ^ للإشارة إلى الدليل العلوي (الأس). في هذه الحالة، تكتب الأرقام السابقة كما يلي:

2.56 * 10^6

8.0773 * 10^-18

1.000 * 10^0

طبعاً، وفي جميع الحالات السابقة، تكون قيمة الأعداد هي نفسها لا تتغير. تكتب هذه الأعداد بالشكل الكامل كما يلي:

2,560,000
0.0000000000000000080773
1.000

عادةً، في الكتب والمطبوعات، يستخدم الترميز العلمي فقط إذا كانت z (قوة الرقم 10) كبيرة (بالقيمة المطلقة) أو صغيرة لحد ما. تعتمد القاعدة التالية: إذا كانت $-2 \le z \le 2$ عندها تكتب الأعداد بالشكل الكامل، ولا تستخدم طريقة الرفع إلى قوة الرقم 10. إما إذا كانت $z = -3$ أو $z = 3$ عندها تكتب الأعداد إما بالشكل الكامل، أو وفق الترميز العلمي. إذا كانت $z \le -4$ أو $z \ge 4$ عندها تكتب الأعداد وفق الترميز العلمي فقط. في حال إعداد الآلة الحاسبة لإظهار الأعداد وفق الترميز العلمي، عندها تظهر قوة الرقم 10 من أجل كل الأعداد، حتى وإن كانت القوة تساوي الصفر.

يمكن تنفيذ عمليات طرح وجمع الأعداد بسهولة إذا كانت مكتوبة بالشكل الكامل، إن أمكن. مثلاً:

$$(3.04 \times 10^2) + (6.853 \times 10^3)$$
$$= 304.5 + 6853 = 7157.5$$
$$= 7.1575 \times 10^3$$

عند ضرب أو تقسيم الأعداد المكتوبة وفق الترميز العلمي، يتم ضرب أو تقسيم الأعداد العشرية (على يسار رمز الضرب) ببعضها البعض، ثم تتم إضافة (في حالة الضرب) أو طرح (في حالة القسمة) قوى الرقم 10 إلى أو من بعضها البعض. أخيراً، تتم إعادة كتابة ناتج الضرب أو القسمة وفق الشكل النظامي. مثلاً:

$$(3.045 \times 10^2) (6.85^3 \times 10^3)$$
$$=20.867385 \times 10^5 = 2.0867385 \times 10^6$$

الأرقام المميّزة Significant Figures

يشير مصطلح رقم مميز، في الترميز العلمي، إلى عدد من الأرقام المستخدمة في الجزء العشري من تمثيل العدد، وذلك لتقريبه وفق دقة معينة. مثلاً، يتكون العدد 3.83×10^{-25} من ثلاث خانات مميزة، بينما يتكون العدد 3.83018×10^{-25} من ست خانات مميزة وبالتالي هو أدق من التمثيل السابق.

القص Truncation

يتم في عملية القص حذف كل الخانات اعتباراً من خانة معينة في تمثيل العدد. تستخدم العديد من الحاسبات الإلكترونية هذه العملية لكي تتسع الأعداد ضمن شاشة الإظهار. مثلاً، يمكن تصغير طول العدد 3.830175692803 على مراحل كما يلي:

3.830175692803
3.83017569280
3.8301756928
3.830175692
3.83017569
3.8301756
3.830175
3.83017
3.8301
3.830
3.83
3.8
3

التدوير Rounding

يعد التدوير طريقة أدق، مقارنة بالقص، لتمثيل الأعداد وفق طول أصغر. في هذه العملية، يتم حذف الخانة (لندعوها r) بدون تعديل الخانة التي على يسارها (ندعوها q) إذا كان $0 \le r \le 4$. أما إذا كانت $5 \le r \le 9$ عندها تتم زيادة q بمقدار 1 (نسمي ذلك تدويراً). تستخدم بعض الحاسبات الإلكترونية عملية التدوير بدلاً من عملية القص. ولتدوير العدد السابق على خطوات لتقصيره نحصل على ما يلي:

3.830175692803
3.83017569280
3.8301756928
3.830175693
3.83017569
3.8301757
3.830176
3.83018
3.8302
3.830
3.83
3.8
4

في الحسابات In Calculations

عند إجراء الحسابات باستخدام الترميز العلمي، لا يجب أن يكون عدد الخانات المميزة في النتيجة أكبر من عدد الخانات المميزة في أقصر عدد في عملية الحساب، من حيث عدد الخانات.

يبين المثال السابق (عملية الجمع) بأنه يجب تقصير ناتج الجمع (7.1575×10^3) إلى أربع خانات مميزة، وذلك لأن حدي عملية الجمع هما عددان ممثلان وفق أربع

خانات فقط. إذا تم قص النتيجة فإنها تصبح 7.157×10^3، أما إذا تم تدوير النتيجة فإنها تصبح 7.158×10^3.

يبين المثال السابق (عملية الضرب) بأنه يجب تقصير ناتج الضرب (2.0867385×10^6) إلى أربع خانات مميزة، وذلك لأن حدي عملية الضرب هما عددان ممثلان وفق أربع خانات فقط. فإذا تم قص النتيجة فإنها تصبح 2.086×10^6، أما إذا تم تدوير النتيجة فإنها تصبح 2.087×10^6 .

يفضل دوماً تقصير الناتج النهائي فقط بعد تنفيذ كل العمليات الحسابية، وذلك في حال وجود أكثر من عملية واحدة.

أولوية العمليات Precedence of Operations

تحوي المعادلات والصيغ عادةً على العديد من العمليات المختلفة. وفي حال عدم استخدام الأقواس المختلفة، يتم تنفيذ العمليات وفق الترتيب التالي:

- القوى والتوابع (مثلاً: x^3، Sin x، e^x).
- الضرب والقسمة (مثلاً $x \times y$، x/3).
- الجمع والطرح (x + y، x - 3).

إذاً، وعلى سبيل المثال، يكون التمثيلان التاليان متكافئين:

$$3 \times x^3 - 4 \times x^2 + \text{Sin } x + 3/x - 7$$

$$[3 \times (x^3)] - [4 \times (x^2)] + (\sin x) + (3/x) - 7$$

عملياً، لا تعد الأقواس المنحنية والقائمة ضرورية في التمثيل السابق، وإنما يفضل استخدامها للتوضيح حتى وإن كانت غير لازمة. يجب استخدام هذه

الأقواس إذا كانت العمليات تنفذ وفق ترتيب مختلف. مثلاً، تعد الأقواس في الصيغة التالية ضرورية للغاية:

$$3 \times (x^3 - 4) \times x^2 + \mathrm{Sin}\,(x + 3)/(x - 7)$$

/ 4 /

علم الجبر والمثلثات

Algebra and Trigonometry

يحتوي هذا الفصل على معلومات عن أساسيات علم الجبر، وجمل الإحداثيات، والعلاقات والتوابع المثلثية، والعلاقات والتوابع اللوغاريتمية.

نظريات في الجبر — Theorems in Algebra

يبين الجدول 4.1 النظريات، تدعى أيضاً قوانين أو قواعد، الأساسية في علم الجبر. تطبق هذه النظريات على كل الأعداد الحقيقية، مع استثناء وحيد: عندما يظهر متحول في مقام كسر (مثلاً 1/x) تكون عندها العبارة غير معرفة عندما $x = 0$.

الجدول 4.1 : النظريات الشائعة في علم الجبر

المعادلة	الوصف
$x + 0 = 0$	حيادي الجمع
$x \times 1 = x$	حيادي الضرب
$x \times 0 = 0$	الضرب بالعدد صفر (العنصر الماص)
$-(-x) = x$	النفي المزدوج
$x + (-x) = 0$	النظير بالنسبة لعملية الجمع

الوصف	المعادلة
النظير بالنسبة لعملية الضرب	$x \times (1/x) = 1$
مقلوب المقلوب	$1/(1/x) = x$
الجمع عملية تبديلية	$x + y = y + x$
الضرب عملية تبديلية	$x \times y = y \times x$
الجمع عملية تجميعية	$x + (y + z) = (x + y) + z$
الضرب عملية تجميعية	$x \times (y \times z) = (x \times y) \times z$
قانون التوزيع	$x \times (y + z) = (x \times y) + (x \times z)$
جداء المجموع	$(w + x) \times (y + z) =$ $(w \times y) + (w \times z) + (x \times y) + (x \times z)$
جداء الطرفين = جداء الوسطين	$w/x = y/z \rightarrow w \times z = x \times y$
مقلوب جداء	$1/(x \times y) = (1/x) \times (1/y)$
مقلوب قسمة	$1/(x/y) = y/x$

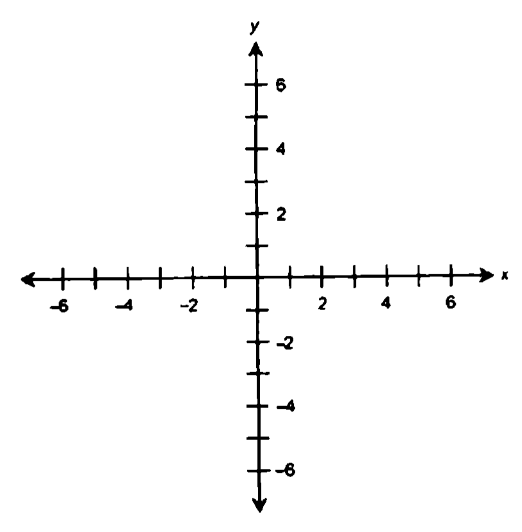
جمل الإحداثيات Coordinate Systems

يتم رسم التوابع والعلاقات في جمل الإحداثيات. تبين هذه الرسومات ميزات عنصر أو ظاهرة، مثل نماذج إشعاع هوائي، وأشكال أمواج، والمخطط الطيفي.

المستوي الديكارتي Cartesian Plane

يعد المستوي الديكارتي جملة الإحداثيات ثنائية البعد الأكثر شيوعاً (الشكل 4.1)، والتي تدعى أيضاً جملة الإحداثيات المتعامدة أو المستوي xy. يتم رسم المتحول المستقل على المحور x أو الفاصلة (abscissa)، بينما يتم رسم المتحول التابع على المحور y أو الترتيب (ordinate). عموماً، يكون مقياس كلا الإحداثيين خطيا. لكن، مع ذلك، قد تكون التقسيمات مختلفة بينهما. هناك حالات لا

يكون فيها المقياس خطياً مثل حالة الرسم البياني نصف اللوغاريتمي حيث يكون مقياس محور العينات لوغاريتمياً، وحالة الرسم البياني اللوغاريتمي حيث يكون مقياس المحورين كليهما لوغاريتمياً.

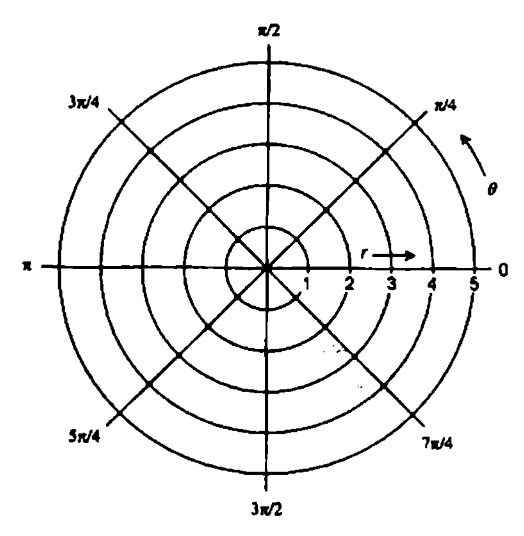


الشكل 4.1: مستوي الإحداثيات الديكارتية، أو التعامدة، أو المستوي xy

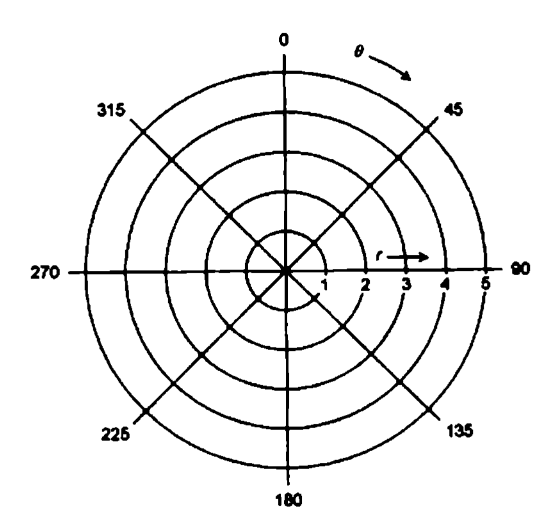
مستوي الإحداثيات القطبية Polar Coordinate Plane

الجملة ثنائية البعد الأخرى هي مستوي الإحداثيات القطبية. يتم رسم المتحول المستقل كنصف قطر (r) والمتحول التابع كزاوية (θ). يبين الشكل 4.2A جملة الإحداثيات القطبية المستخدمة في علوم الرياضيات والفيزياء. تقدر θ بالراديان، وترسم بعكس عقارب الساعة بدءاً من الشعاع المتجه إلى اليمين (الشرق). يبين الشكل 4.2B جملة الإحداثيات القطبية المستخدمة في تطبيقات الاتصالات اللاسلكية، والملاحة، وتحديد الموقع.

تقدر θ بالدرجة وترسم مع عقارب الساعة بدءاً من الشعاع المتجه نحو الأعلى (الشمال). يكون المقياس الزاوي خطياً دوماً في نظام الإحداثيات القطبية. أما المقياس القطري فيكون خطياً في معظم الرسوم البيانية القطبية، لكنّه قد يكون لوغاريتمياً في بعض الحالات.



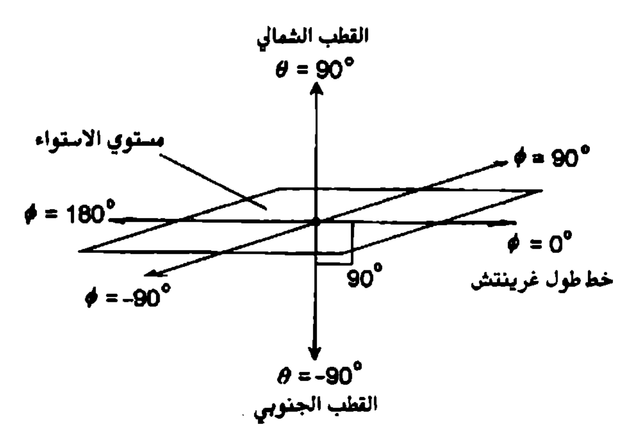
الشكل 4.2A : مستوي الإحداثيات القطبية المستخدم في علوم الرياضيات والفيزياء



الشكل 4.2B: المستوي القطبي الخاص بالاتصالات اللاسلكية، والملاحة، وتحديد الموقع

العرض والطول Latitude and Longitude

تعرف زاوية الطول والعرض موقع نقطة من كرة أو في الفضاء. يبين الشكل 4.3A المخطط الخاص بالمواقع الجغرافية على سطح الأرض. يصل المحور القطبي بين نقطتين محددتين ومتقابلتين من الكرة الأرضية. وتأخذ هاتان النقطتان زاوية طول $\theta = 90^\circ$ (القطب الشمالي)، و $\theta = -90^\circ$ (القطب الجنوبي). يتجه محور الاستواء منطلقاً من مركز الكرة بزاوية 90° مع المحور القطبي، ويأخذ زاوية طول $\varnothing = 0$. فيما تقاس زاوية العرض (θ) بقيمة موجبة (الشمال) أو بقيمة سالبة (الجنوب) حسب الموقع بالنسبة لخط الاستواء.



الشكل 4.3A : زاوية الطول وزاوية العرض

تقاس زاوية الطول (∅) بعكس عقارب الساعة (الشرق) أو مع عقارب الساعة (الغرب) حسب الموقع بالنسبة لمحور الاستواء. إذاً، تكون الزوايا محصورة بالمجال التالي:

$$-90^0 \leq \theta \leq 90^0$$

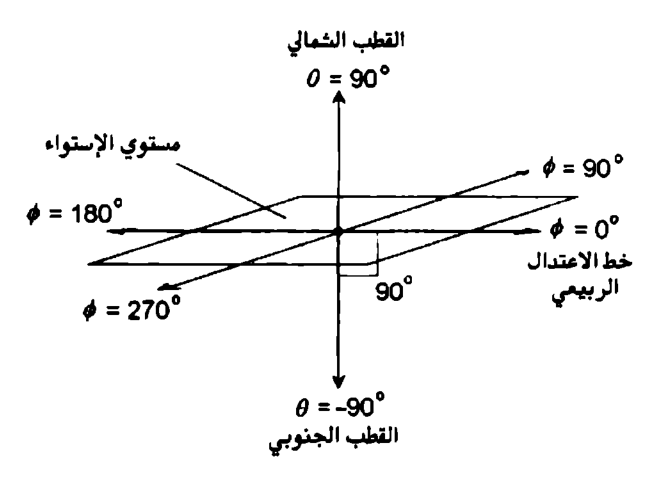
$$-180^0 \leq \varnothing \leq 180^0$$

على سطح الأرض، نسمي نصف الدائرة التي تصل خط الطول 0^0 مع القطبين، والتي تمر في منطقة غرينتش بإنكلترا، باسم خط طول غرينتش (Greenwich meridian). ويتم تعريف زوايا الطول بالنسبة لهذا الخط.

الإحداثيات الفلكية Celestial Coordinates

يعد خط الطول وخط العرض الفلكيان كامتداد لخطي الطول والعرض الأرضيين. ويبين الشكل 4.3A هذا النظام من الإحداثيات. يظهر جسم ما ذو

إحداثيات طول وعرض فلكيين (θ, ∅) في ذروة السماء انطلاقاً من نقطة على سطح الأرض ذات إحداثيي طول وعرض (θ, ∅).



الشكل 4.3B: مخطط الميل الزاوي والصعود المستقيم

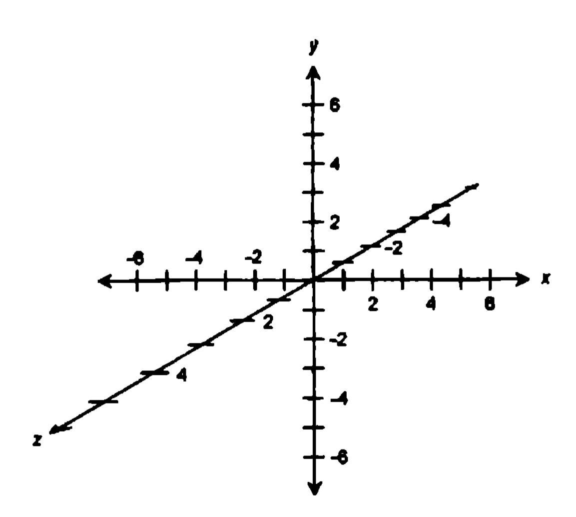
يعرف كلٌ من الميل الزاوي (declination) والصعود المستقيم (right ascension) مواقع العناصر في السماء بالنسبة للنجوم. ويبين الشكل 4.3B استعمال هذا النظام. يعد الميل الزاوي (θ) متطابقاً مع زاوية العرض الفلكية. فيما يقاس الصعود المستقيم (∅) شرقاً من خط الاعتدال الربيعي (Vernal equinox) (موقع الشمس في السماء في لحظة بدء الربيع في نصف الكرة الشمالي). وتكون عندها الزوايا محدودة بالشكل التالي:

$$-90^0 \leq \theta \leq 90^0$$

$$0^0 \leq \varnothing \leq 360^0$$

Cartesian three space الفضاء الثلاثي الديكارتي

يعد الفضاء الثلاثي الديكارتي، ويدعى أيضاً فضاء xyz، امتداداً ثلاثي الأبعاد للإحداثيات المتعامدة (الشكل 4.4). ترسم المتحولات المستقلة عادة على طول المحور x والمحور y، بينما يرسم المتحول التابع على طول المحور z. تكون المقاييس عادة خطية، وليس من الضروري أن تكون التقسيمات متماثلة. أحياناً، قد يستخدم المقياس اللوغاريتمي في محور أو أكثر.

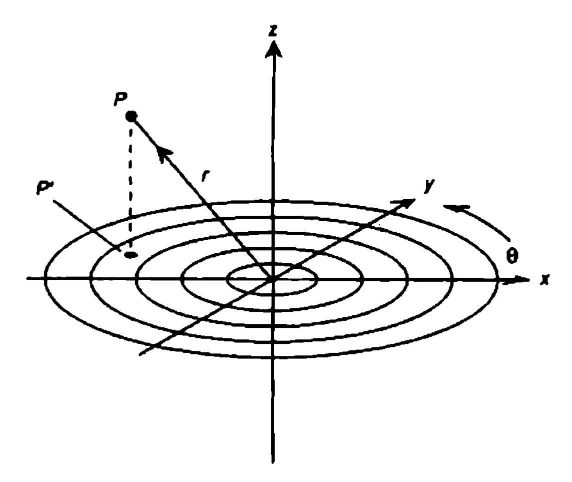


الشكل 4.4: الفضاء الديكارتي الثلاثي، أو فضاء xyz

Cylindrical Coordinates الإحداثيات الأسطوانية

يبين الشكل 4.5 جملة الإحداثيات الأسطوانية المستخدمة لتحديد موقع نقطة في فضاء ثلاثي البعد. باعتبار مجموعة الإحداثيات الديكارتية، أو الفضاء xyz، تعرف الزاوية θ في المستوي xy. وتقاس هذه الزاوية بالراديان بعكس عقارب

الساعة وانطلاقاً من المحور x. لنأخذ نقطة (P) من الفضاء، وبحيث يكون مسقطها على المستوي xy هي النقطة (P')، يعرف موقع P بواسطة الثلاثية المرتبة (θ, r, z) كما يلي:



الشكل 4.5: الإحداثيات الأسطوانية الخاصة بتعريف نقطة في الفضاء الثلاثي

θ = الزاوية بين P' والمحور x في المستوي xy مأخوذة بعكس اتجاه عقارب الساعة.

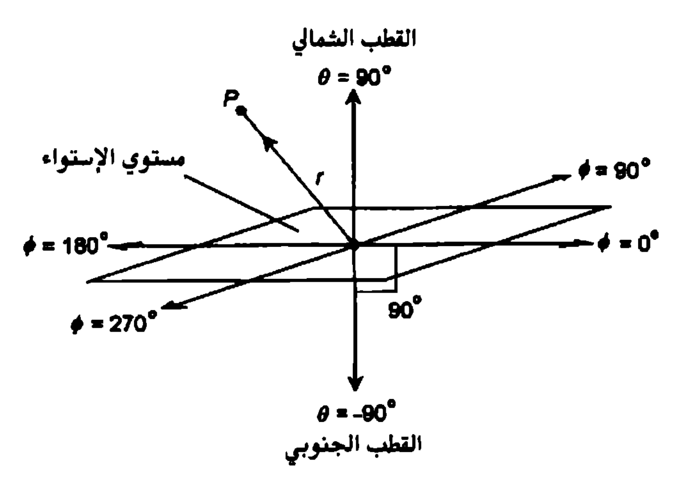
r = المسافة (نصف القطر) بين P والمبدأ

z = المسافة (الارتفاع) الشاقولية بين P والمستوي xy (البعد PP')

الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates

يبين الشكل 4.6 جملة الإحداثيات الكروية الخاصة بتعريف نقاط في الفضاء. لاحظ أن هذا المخطط مطابق لنظام زاوية الميل والصعود المستقيم، مع إضافة

شعاع نصف القطر (r) الذي يمثل بعد النقطة P عن المبدأ. ويعرف موقع نقطة P بواسطة الثلاثية (θ, Ø, r) كما يلي:



الشكل 4.6: الإحداثيات الكروية الخاصة بتعريف نقاط في الفضاء الثلاثي

θ = زاوية ميل النقطة P

Ø = الصعود المستقيم للنقطة P

r = المسافة (نصف القطر) بين P والمبدأ

في هذا المثال، تمثل الزوايا بواحدة الدرجة، ويمكن تمثيلها بالراديان.

المثلثات Trigonometric

التوابع المثلثية الثلاثة الأساسية هي: تابع الجيب (sine)، تابع التجيب (cosine)، وتابع الظل (tangent). تطبق هذه التوابع من أجل زاوية θ مقدرة بالراديان،

وبالتالي تكون 2π θ 0. تكتب هذه التوابع في المعادلات والعلاقات بالشكل $\sin\theta$، $\cos\theta$، $\tan\theta$.

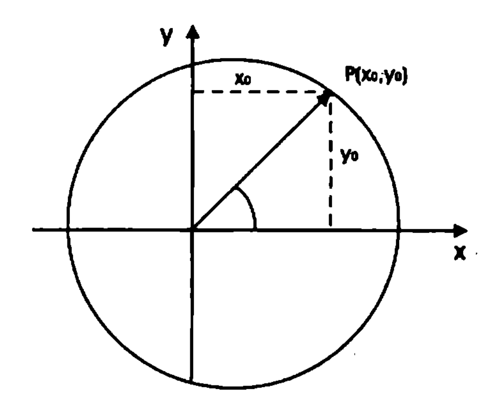
التوابع الأساسية Basic functions

لنأخذ معادلة دائرة في المستوي الديكارتي بالشكل التالي:

$$x^2 + y^2 = 1$$

نسمي هذه الدائرة بالدائرة الواحدية (unit circle) لأن نصف قطرها يساوي الواحد ومركزها هو المبدأ (0,0). لنأخذ زاوية θ مركزها في المبدأ وتقاس بدءاً من محور السينات (المحور x) بعكس عقارب الساعة. بفرض أن الضلع الثاني للزاوية يتقاطع مع الدائرة الواحدية في النقطة $P = (x_0, y_0)$. عندها يكون:

$$y_0 = \sin\theta$$
$$x_0 = \cos\theta$$
$$y_0/x_0 = \tan\theta$$



Secondary functions التوابع الثانوية

هناك ثلاثة توابع مثلثية أخرى مشتقة من التوابع الأساسية. هذه التوابع هي: تابع تمام القاطع (cosecant)، وتابع القاطع (secant)، وتابع ظل القاطع (cotangent). تكتب هذه التوابع في العلاقات والمعادلات بالشكل csc θ، sec θ، cot θ. تعرف هذه التوابع بالعلاقات:

$$\csc\theta = 1/(\sin\theta) = 1/y_0$$

$$\sec\theta = 1/(\cos\theta) = 1/x_0$$

$$\cot\theta = 1/(\tan\theta) = x_0/y_0$$

Trigonometric identities المتطابقات المثلثية

هناك بعض النظريات المبرهنة في علم المثلثات، والتي ندعوها متطابقات. يبين الجدول 4.2 بعض المتطابقات الشهيرة، حيث الزاوية θ مقدرة بالراديان. لدينا أيضاً العلاقات التالية:

$$\sin^2\theta = (\sin\theta)^2 = (\sin\theta) \times (\sin\theta)$$

$$\cos^2\theta = (\cos\theta)^2 = (\cos\theta) \times (\cos\theta)$$

$$\tan^2\theta = (\tan\theta)^2 = (\tan\theta) \times (\tan\theta)$$

$$\csc^2\theta = (\csc\theta)^2 = (\csc\theta) \times (\csc\theta)$$

$$\sec^2\theta = (\sec\theta)^2 = (\sec\theta) \times (\sec\theta)$$

$$\cot^2\theta = (\cot\theta)^2 = (\cot\theta) \times (\cot\theta)$$

الجدول 4.2: المتطابقات المثلثية الشهيرة. تعرف جميع المتطابقات من أجل جميع الأعداد الحقيقية ما عدا تلك التي تعدم المقام

المتطابقة	الوصف
$\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$	نظرية فيثاغورس لتابعي الجيب والتجيب
$\sec^2\theta - \tan^2\theta = 1$	نظرية فيثاغورس لتابعي القاطع والظل
$\sin(-\theta) = -\sin\theta$	جيب عكس زاوية
$\cos(-\theta) = \cos\theta$	تجيب عكس زاوية
$\tan(-\theta) = -\tan\theta$	ظل عكس زاوية
$\sin(\theta+2\pi) = \sin\theta$	دورية تابع الجيب
$\cos(\theta+2\pi) = \cos\theta$	دورية تابع التجيب
$\tan(\theta+2\pi) = \tan\theta$	دورية تابع الظل
$\sin(2\times\theta) = 2\times\sin\theta\times\cos\theta$	علاقة جيب ضعف زاوية
$\cos(2\times\theta) = 1 - (2\times\sin^2\theta)$ $= (2\times\cos^2\theta) - 1$ $= \cos^2\theta - \sin^2\theta$	علاقة تجيب ضعف زاوية
$\tan(2\times\theta) = (2\times\tan\theta)\,(1-\tan^2\theta)$	علاقة ظل ضعف زاوية
$\sin(\theta/2) = \pm\,[(1-\cos\theta)/2]^{1/2}$	علاقة جيب نصف زاوية
$\cos(\theta/2) = \pm\,[(1+\cos\theta)/2]^{1/2}$	علاقة تجيب نصف زاوية
$\tan(\theta/2) = (\sin\theta)/(1+\cos\theta)$	علاقة ظل نصف زاوية
$\sin(\theta+\varnothing) = \sin\theta\times\cos\varnothing + \cos\theta\times\sin\varnothing$	علاقة جيب مجموع زاويتين
$\cos(\theta+\varnothing) = \cos\theta\times\cos\varnothing - \sin\theta\times\sin\varnothing$	علاقة تجيب مجموع زاويتين
$\tan(\theta+\varnothing) = (\tan\theta+\tan\varnothing)/(1-\tan\theta\times\tan\varnothing)$	علاقة ظل مجموع زاويتين

الوصف	المتطابقة
علاقة جيب فرق زاويتين	$\sin(\theta-\varnothing) = \sin\theta \times \cos\varnothing - \cos\theta \times \sin\varnothing$
علاقة تجيب فرق زاويتين	$\cos(\theta-\varnothing) = \cos\theta \times \cos\varnothing + \sin\theta \times \sin\varnothing$
علاقة ظل فرق زاويتين	$\tan(\theta-\varnothing) = (\tan\theta-\tan\varnothing)/(1+\tan\theta\times\tan\varnothing)$
علاقة تجيب الزاوية المتممة لزاوية	$\sin\theta = \cos(\pi/2-\theta)$
علاقة جيب الزاوية المتممة لزاوية	$\cos\theta = \sin(\pi/2-\theta)$
علاقة تظل الزاوية المتممة لزاوية	$\tan\theta = \text{Cot}(\pi/2-\theta)$
علاقة ظل الزاوية المتممة لزاوية	$\text{Cot}\,\theta = \tan(\pi/2-\theta)$
قاعدة الزاوية المتممة لتوابع القاطع وتمام القاطع	$\text{Sec}\,\theta = \csc(\pi/2-\theta)$
قاعدة الزاوية المتممة لتوابع القاطع وتمام القاطع	$\text{Csc}\,\theta = \sec(\pi/2-\theta)$
علاقة جيب الزاوية المكملة لزاوية	$\sin\theta = \sin(\pi-\theta)$
علاقة تجيب الزاوية المكملة لزاوية	$\cos\theta = -\cos(\pi-\theta)$
علاقة ظل الزاوية المكملة لزاوية	$\tan\theta = -\tan(\pi-\theta)$

اللوغاريتمات Logarithms

اللوغاريتم هو الأس الذي إذا رفع إلى أساس ثابت أعطى عدداً معيناً. بفرض أنه لدينا العلاقة التالية بين الأعداد الحقيقية x, m, a:

$$a^m = x$$

عندئذ، تكون m هي لوغاريتم x بالنسبة للأساس a. ويعبر عن ذلك بالعلاقة التالية:

$$m = \log_a x$$

الأساسان الأكثر شيوعاً في اللوغاريتمات هما: $a = 10$، و $a = e \approx 2.71828$.

يدعى لوغاريتم الأساس 10 باللوغاريتم العادي، ويرمز له في المعادلات بالشكل log. مثلاً:

$$\text{Log } 10 = 1.000$$

يعرف لوغاريتم الأساس e باللوغاريتم الطبيعي أو النيبري، ويرمز له في المعادلات بالرمز ln عادة. لكن، قد يستخدم الرمز $\log_e$ أحياناً. مثلاً:

$$\ln\ 2.71828 = \log_e 2.71828 \approx 1.00000$$

يبين الجدول 4.3 بعض العلاقات المتعلقة باللوغاريتمات.

الجدول 4.3: علاقات اللوغاريتمات الشائعة. وتطبق من أجل جميع الأعداد الحقيقية عدا تلك التي تعدم القام

المطابقة	الوصف
$\text{Log } x = \ln x / \ln 10 \approx 0.434 \times \ln x$	التحويل من اللوغاريتم الطبيعي (الأساس e) إلى اللوغاريتم العادي (الأساس 10)
$\ln x = \log x / \log e \approx 2.303 \times \log x$	التحويل من اللوغاريتم العادي (الأساس 10) إلى اللوغاريتم الطبيعي (الأساس e)
$\text{Log } (x \times y) = \log x + \log y$	لوغاريتم جداء
$\text{Ln } (x \times y) = \ln x + \ln y$	لوغاريتم طبيعي لجداء
$\text{Log } (x/y) = -\log (y/x) = \log x - \log y$	لوغاريتم كسر
$\text{Ln } (x/y) = -\ln (y/x) = \ln x - \ln y$	لوغاريتم طبيعي لكسر
$\text{Log } x^y = y \times \log x$	لوغاريتم قوة

الوصف	المتطابقة
لوغاريتم طبيعي لقوة	$\ln x^y = y \times \ln x$
لوغاريتم مقلوب	$\log 1/x = -\log x$
لوغاريتم طبيعي لمقلوب	$\ln 1/x = -\ln x$
لوغاريتم جذر	$\log (x)^{1/y} = (\log x)/y$
لوغاريتم طبيعي لجذر	$\ln (x)^{1/y} = (\ln x)/y$
لوغاريتم تابع أسي للأساس 10	$\log 10^x = x$
لوغاريتم تابع أسي للأساس e	$\ln e^x = x$

/ 5 /

المتتاليات والسلاسل

Sequences and Series

يحوي هذا الفصل علاقات وتعاريف خاصة بالمتتاليات والمتواليات والسلاسل. أيضاً، نجد في نهاية الفصل العديد من العلاقات المشتقة من السلاسل الناتجة عن التوابع الأسية والمثلثية.

تعاريف Definitions

نبين فيما يلي بعض التعاريف الهامة. عموماً، يكون عدد الحدود (الأعداد أو المتحولات) غير منته إلا في حالة الإشارة إلى عكس ذلك.

المتتالية Sequence

تتألف المتتالية من حدود وفق ترتيب معين:

$$a_1, a_2, a_3, \ldots, a_n, \ldots$$

أحياناً لا يستخدم الرمز التوصيفي في صيغة المتتالية، وذلك للإشارة إلى العدد الصحيح الموجب:

$$a_1, a_2, a_3, \ldots, a_n, \ldots = 1, 2, 3, \ldots, n, \ldots$$

عادةً، تتوالى الأعداد في المتتالية وفق صيغة أكثر تعقيداً.

Progression المتوالية

المتوالية هي متتالية يكون فيها كل حد مشتق من الحد الذي يسبقه، وذلك تبعاً لعلاقة معينة. إذا كان $a_{(n+1)} = f(a_n)$، حيث f هي صيغة تعين الحد التالي، عندها تكتب المتوالية بشكل كامل كما يلي:

$$P = a_1, f(a_1), f[f(a_1)], f\{f[f(a_1)]\}, \dots$$

Series السلاسل

تتألف السلاسل من أعداد أو متحولات مرتبة وفق شكل معين، وترتبط مع بعضها بعملية الجمع:

$$a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n + \dots$$

في معظم التطبيقات، تتابع حدود السلسلة وفق نمط معين.

Partial sum المجموع الجزئي

نسمي مجموع أول n حد من سلسلة بالمجموع الجزئي للسلسلة، ونرمزه S_n:

$$S_n = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$$

Convergent series السلاسل المتقاربة

نقول عن السلسلة أنها متقاربة إذا كان مجموعها الجزئي S_n يقترب من عدد معين محدود S عندما تسعى n إلى اللانهاية:

$$S_n \to S \quad \text{عندما} \quad n \to \infty$$

لنأخذ السلسلة التالية كمثال عن السلاسل المتقاربة:

$$C = 1 + 1/2 + 1/4 + 1/8 + \ldots \rightarrow 2$$

السلاسل المتباعدة Divergent series

نقول عن سلسلة أنها متباعدة إذا كان مجموعها الجزئي S_n لا يقترب إلى أي عدد محدود عندما تسعى n إلى اللانهاية. لنأخذ السلسلة التالية كمثال عن السلاسل المتباعدة:

$$D = 1 + 2 + 3 + 4 + \ldots$$

السلاسل المتقاربة شرطياً Conditionally Convergent series

السلسلة المتقاربة شرطياً هي سلسلة متقاربة من أجل قيم محددة المتحول x، ولكنها متباعدة من أجل القيم الأخرى لـ x. لنأخذ السلسلة التالية كمثال عن السلاسل المتقاربة شرطيا:

$$Cc = 1 - x + x^2 - x^3 + x^4 - x^5 + \ldots$$

إنها متقاربة من $\frac{1}{1+x}$ إذا كان $-1 \leq x \leq 1$

ومتباعدة إذا كان $x \geq 1$ أو $x \leq -1$

العاملي Factorial

عاملي العدد n (يكتب !n)، حيث n عدد صحيح موجب، هو جداء كل الأعداد الصحيحة الموجبة بدءاً من الواحد وحتى n. أي:

$$n! = 1 \times 2 \times 3 \times 4 \times \ldots \times n$$

يتزايد العاملي بسرعة أكبر كلما تزايدت n. يساوي العاملي لبعض الأعداد الصحيحة الأولى ما يلي:

0! =1
1! = 1
2! = 2
3! = 6
4! = 24
5! = 120
6! = 720
7! = 5,040
8! = 40,320
9! = 362,880
10! = 3,628,800
11! = 39,916,800
12! = 479,001,600

Basic Series السلاسل الأساسية

أحياناً، نسمي السلاسل التالية سلاسل أساسية أو سلاسل بسيطة لأنها تتبع قواعد أولية.

Arithmetic Series السلاسل الحسابية

السلسلة الحسابية هي سلسلة (A) تكتب بالشكل:

$$F[a_{(n+1)}] = a_n + d$$

$$\therefore$$

$$A = a_1 + (a_1 + d) + (a_1 + 2 \times d) + (a_1 + 3 \times d) + \dots .$$

حيث d هي ثابت يدعى الفرق (difference). مثلاً، إذا كانت $a_1 = 5$، $d = 2$ عندها تكون:

$$A = 5 + 7 + 9 + 11 + 13 + ...$$

السلاسل الهندسية Geometric Series

السلسلة الهندسية هي سلسلة (G) تكتب بالشكل:

$$F[a_{(n+1)}] = a_n/r$$

$$\therefore$$

$$G = a_1 + (a_1/r) + (a_1/r^2) + (a_1/r^3)$$

حيث r هو ثابت يدعى النسبة (ratio). مثلاً، إذا كان $a_1 = 3$، $r = 2$ تكون عندها:

$$G = 3 + 3/2 + 3/4 + 3/8 + 3/16 + ...$$

السلاسل التوافقية Harmonic Series

السلسلة التوافقية هي سلسلة ($H = a_1 + a_2 + a_3 + ... + a_n + ...$) تكون فيها السلسلة المتشكلة من مقلوب كل حد فيها هي سلسلة حسابية (A):

$$1/f[a_{(n+1)}] = 1/(a_n + d)$$

$$\therefore$$

$$A = H^{-1} = 1/a_1 + 1/a_2 + 1/a_3 + ... + 1/a_n$$

حيث d هو ثابت.

مثلاً، إذا كانت $a_1=1$، $d=3$ تكون عندها:

$$H = 1, 1/4, 1/7, 1/10, 1/13, ...$$

Power Series سلاسل القوى

سلسلة القوى هي سلسلة (P) ذات صيغة تحوي المعاملات a_i (حيث i دليل صحيح موجب) والمتحول (x)، وتكتب بالشكل :

$$P = a_0 + a_1 \times x + a_2 \times x^2 + a_3 \times x^3 + \dots + a_n \times x^n + \dots$$

حيث . ... $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$ هي متتالية.

مثلاً، إذا كانت المعاملات هي .. ... 2, 4, 6, 8, تكون عندها:

$$P = 2 + 4 \times x + 6 \times x^2 + 8 \times x^3 + \dots .$$

More Sophisticated Series السلاسل المتميزة الأخرى

نصادف السلاسل التالية في الإلكترونيات. وهي تشمل سلاسل ذات نماذج متميزة مختلفة عن تلك الأساسية. لنفرض، في كل الأمثلة، أن n هي عدد صحيح موجب يمثل ترتيب الحد في السلسلة. إذاً يكون n = 1 من أجل الحد الأول، و n = 2 من أجل الحد الثاني، وهكذا.

Arithmetic-geometric Series السلاسل الحسابيةالهندسية

السلسلة الحسابية-الهندسية هي سلسلة C تكتب بالشكل:

$$C = a + (a + b) \times x + (a + 2\times b) \times x^2 + (a + 3\times b) \times x^3 + \dots + (a+ (n-1) \times b) \times x^{n-1}$$

حيث: a, b ثوابت

x متحول

سلاسل تايلور Taylor Series

سلسلة تايلور، والتي تسمى أيضاً منشور تايلور، هي سلسلة (T) تحوي في علاقتها تابع (f) ومشتقاته المتتالية f'، f''، $f^{(3)}$، ...، $f^{(n)}$، ... ، وعدد ثابت (a)، ومتحول (x)، وتكتب بالشكل:

$$T = f(a) + [(x-a) \times f'(a)]/1! + [(x-a)^2 \times f''(a)]/2! + [(x-a)^3 f^{(3)}(a)]/3! + \dots + [(x-a)^n f^{(n)}(a)]/n! + \dots$$

سلاسل ماك لوران Maclaurin Series

سلسلة ماك لوران (M) هي نفسها سلسلة تايلور ولكن هنا $a = 0$. إذاً تكتب السلسلة بالشكل التالي:

$$M = f(0) + [x \times f'(0)]/1! + [x^2 \times f''(0)]/2! + [x^3 \times f^{(3)}]/3! + \dots + [x^n \times f^{(n)}(0)]/n! + \dots$$

سلاسل فورييه Fourier Series

تمثل سلسلة فورييه تابعاً دورياً (F) دوره (2L). تكتب هذه السلسلة بالشكل:

$$F = a_0/2 + a_1 \times \cos(\pi \times x/L) + b_1 \times \sin(\pi \times x/L) + a_2 \times \cos(2 \times \pi \times x/L) + b_2 \times \sin(2 \times \pi \times x/L) + a_3 \times \cos(3 \times \pi \times x/L) + b_3 \times \sin(3 \times \pi \times x/L) + \dots + a_n \times \cos(n \times \pi \times x/L) + b_n \times \sin(n \times \pi \times x/L) + \dots$$

حيث: (x) متحول

$(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots)$ متتالية

$(b_1, b_2, b_3, \dots, b_n, \dots)$ متتالية

/ 6 /

المجموعات، والتوابع، والأشعة

Sets, Functions, and Vectors

يستعرض هذا الفصل التعاريف والعلاقات المتعلقة بالتوابع والمجموعات والأشعة.

المجموعات Sets

المجموعة هي تجمع من عناصر معروفة. في الإلكترونيات، تشمل مجموعة العناصر ما يلي:

- نقاطاً من خط
- ثوان من الزمن
- إحداثيات من مستوي
- إحداثيات في عرض بياني
- إحداثيات في الفراغ
- منحنيات في رسم بياني
- الحالات المنطقية الرقمية
- المواقع في الذاكرة أو أداة التخزين

- بتاً، بايتاً ومحارف البيانات
- المنتسبون إلى شبكة اتصال

إذا كان لدينا عنصر (a) ينتمي إلى مجموعة (A)، عندها نعبر عن ذلك بالشكل:

$$a \in A$$

تقاطع المجموعات Set intersection

تقاطع مجموعتين A، وB، والذي يكتب بالشكل $A \cap B$، هو مجموعة (C) تحقق العبارة التالية من أجل أي عنصر x:

$$\forall x \in C \leftrightarrow x \in A \,\&\, x \in B$$

اجتماع المجموعات Set union

اجتماع مجموعتين A و B، والذي يكتب بالشكل $A \cup B$، هو مجموعة (C) تحقق العبارة التالية من أجل أي عنصر x:

$$\forall x \in C \leftrightarrow x \in A \text{ or } x \in B$$

المجموعات الجزئية Subsets

نقول عن مجموعة (A) أنها مجموعة جزئية من مجموعة (B)، نكتب ذلك بالشكل $A \subseteq B$، إذا وفقط إذا كانت العلاقة التالية محققة:

$$\forall x \in A \rightarrow x \in B$$

المجموعات الجزئية كلياً Proper subsets

نقول عن مجموعة (A) أنها مجموعة جزئية كلياً من مجموعة (B)، نكتب ذلك بالشكل $A \subset B$، إذا وفقط إذا كانت العلاقة التالية محققة:

$$\begin{cases} x \in A \rightarrow x \in B \\ \& \ A \neq B \end{cases}$$

المجموعات المنفصلة Disjoint sets

نقول عن مجموعتين A و B أنهما مجموعتان منفصلتان، إذا وفقط إذا كانت الشروط الثلاثة التالية محققة:

$$A \neq \phi$$

$$B \neq \phi$$

$$A \cap B = \phi$$

حيث ϕ هي المجموعة الخالية

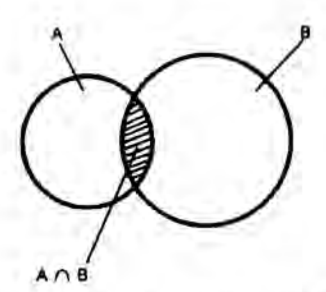
المجموعات المتطابقة Coincident Sets

نقول عن المجموعتين غير الخاليتين A و B أنهما مجموعتان متطابقتان إذا وفقط إذا تحققت العلاقة التالية من أجل أي عنصر x:

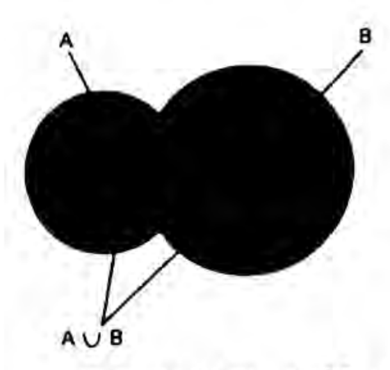
$$x \in A \leftrightarrow x \in B$$

مخططات فين البيانية Venn diagrams

يمكن تمثيل مجموعة التقاطع والاجتماع بواسطة رسوم فين (Venn) البيانية. يبين الشكل 6.1 الرسم البياني الذي يوصف تقاطع بمجموعتين. أما الشكل 6.2، فيبين الرسم البياني الذي يعبر عن اجتماع بمجموعتين.



الشكل 6.1: تقاطع مجموعتين (A,B) غير منفصلتين وغير متطابقتين



الشكل 6.2: اجتماع مجموعتين (A,B) غير منفصلتين وغير متطابقتين

التوابع Functions

التابع هو قاعدة تعرف علاقة بين نقاط مجموعتين مختلفتين، وتدعى المجموعة الأولى مجموعة المنطلق، فيما تدعى الثانية مجموعة المستقر. ويجب أن يكون لكل نقطة من المنطلق مقابل وحيد في المستقر حتماً.

التابع المتباين one-one function

بفرض المجموعتين غير الخاليتين A و B. لنفرض أنه من أجل كل عنصر من A هناك تابع (f) يعين عنصراً ما من B. إذا كان a_1, a_2 عنصرين من A، وكان b_1، b_2 عنصرين من B، بحيث يكون $f(a_1) = b_1$ و $f(a_2) = b_2$، عندئذ نقول عن f أنه تابع متباين إذا وفقط إذا:

$$a_1 \neq a_2 \rightarrow b_1 \neq b_2$$

بطريقة أخرى نقول، يجب أن يكون أي عنصر من المستقر (B) مقابلاً لعنصر واحد على الأكثر من المنطلق (A).

التابع الغامر Onto function

نقول عن تابع (f)، من مجموعة A إلى مجموعة B، أنه تابع غامر إذا وفقط إذا:

$$b \in B \rightarrow f(a) = b$$

من أجل $a \in A$

بطريقة أخرى نقول، يجب أن يكون أي عنصر من المستقر (B) مقابلاً لعنصر واحد على الأكثر من المنطلق (A).

التقابل one-to-one correspondence

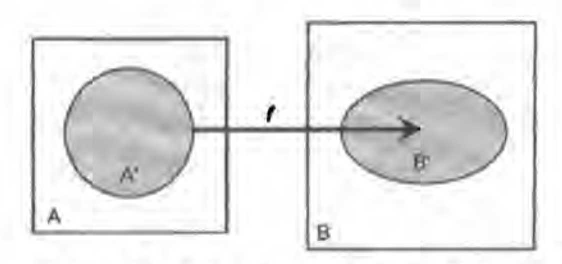
نقول عن تابع (f)، من مجموعة A إلى مجموعة B، أنه تقابل واحد-لواحد، يعرف أيضاً بالاسم تقابل (bijection)، إذا وفقط إذا كان f متبايناً وغامراً.

مجال التعريف Domain

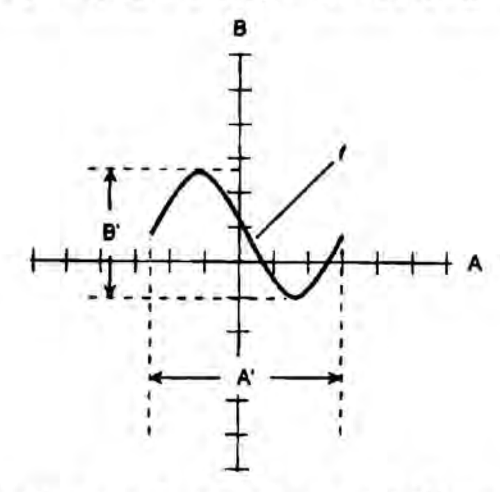
يمكننا دراسة التابع على مجموعة جزئية من منطلقه، بما يتناسب مع الغاية من الدارسة، انظر الشكلين 6.3، و 6.4. إذ تمثل 'A مجال التعريف في هذه الحالة.

المستقر الفعلي Range

بفرض f هو تابع من المجموعة A إلى المجموعة B. لتكن B′ هي المجموعة المكونة من كل العناصر (b) من B التي من أجلها يوجد عنصر مقابل (a) من A. عندها نسمي B′ المستقر الفعلي f. انظر الشكلين 6.3، 6.4.



الشكل 6.3: مجال التعريف (A′) والمستقر الفعلي (B′) من المنطلق A إلى المستقر B

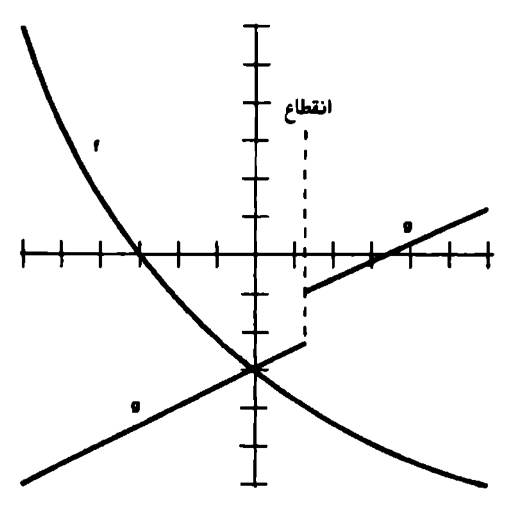


الشكل 6.4: مجال التعريف (A′) والمستقر الفعلي لهذا المجال (B′) من المنطلق A إلى المستقر B في جملة الإحداثيات المتعامدة (الديكارتية)

ملاحظة : ندرس في هذه الحالة، مثلاً، التابع على مجال التعريف A'

الاستمرارية Continuity

نقول عن تابع (f) أنه مستمر إذا وفقط إذا كان من أجل كل نقطة (a) من المنطلق A، ومن أجل كل نقطة f(a) = (b) من المستقر B′، ينتهي f(x) إلى b عندما تنتهي x إلى a. إذا لم يتحقق هذا الشرط من أجل جميع النقاط من A، عندها يكون التابع (f) غير مستمر. نسمي كل نقطة (a_d) لا يتحقق عندها الشرط السابق نقطة انقطاع (discontinuity). ويبين الشكل 6.5 مثال عن التوابع المستمرة والتوابع غير المستمرة.



الشكل 6.5 : التابع f مستمر، التابع g غير مستمر

التابع الخطي Linear Function

التابع الخطي لمتحول x هو تابع (f) خطه البياني هو مستقيم في جملة الإحداثيات المتعامدة. وتكتب المعادلة العامة الممثلة لهذه النوعية من التوابع بالشكل:

$$f(x) = a \times x + b$$

حيث a, b ثوابت

التابع التربيعي Quadratic function

التابع التربيعي لمتحول (x)، والذي يدعى أيضاً تابع درجة ثانية، هو تابع صحيح (f) خطه البياني في جملة الإحداثيات المتعامدة عبارة عن قطع مكافئ. تكتب المعادلة العامة لهذه النوعية من التوابع بالشكل:

$$f(x) = a \times x^2 + b \times x + c$$

حيث a, b, c ثوابت

التابع التكعيبي Cubic function

التابع التكعيـــبي لمتحول (x)، يدعى أيضاً تابع درجة ثالثة، هو تابع صحيح (f) معادلته من الشكل:

$$f(x) = a \times x^3 + b \times x^2 + c \times x + d$$

حيث a, b, c, d ثوابت

التابع الرباعي Quartic function

التابع الرباعي لمتحول (x)، يدعى أيضاً تابع درجة رابعة، هو تابع صحيح (f) معادلته من الشكل:

$$f(x) = a \times x^4 + b \times x^3 + c \times x^2 + d \times x + e$$

حيث a, b, c, d, e ثوابت

التابع من الدرجة n Function of the *n*th order

المعادلة العامة لتابع من الدرجة n لمتحول (x) هي:

$$f(x) = a^n \times x^n + a_{(n-1)} \times x_{(n-1)} + \dots \dots + a_2 \times x^2 + a_1 \times x + a_0$$

التابع اللوغاريتمي المعمم Generalized logarithmic function

المعادلة العامة للتابع اللوغاريتمي المعمم لمتحول (x) هي من الشكل:

$$f(x) = a \times \log_n (b \times x) + c$$

حيث أن a, b, c ثوابت، n هو أساس اللوغاريتم.

ونذكر بأن أساسي التابع اللوغاريتمي الأكثر شيوعاً هما العدد 10، والثابت الأسي $e = 2.71828$.

التابع الأسي المعمم Generalized exponential function

المعادلة العامة للتابع الأسي المعمم لمتحول (x) هي من الشكل:

$$f(x) = a \times n^{(b \times x)} + c$$

حيث أن a, b, c ثوابت، n هو الأساس الأسي.

ونذكر بأن أساسي التابع الأسي الأكثر شيوعاً هما العدد 10، والثابت الأسي $e = 2.71828$.

التابع المثلثي المعمم Generalized trigonometric function

لقد تحدثنا في الفصل الرابع عن التوابع المثلثية الستة الأساسية. والصيغة العامة للتابع المثلثي (f) هي من الشكل:

$$f(x) = a \times trig(b \times x) + c$$

حيث أن trig تمثل أحد التوابع الجيب، التجيب، الظل، القاطع، تمام القاطع، ظل القاطع، و a, b, c هم ثوابت.

الأشعة Vectors

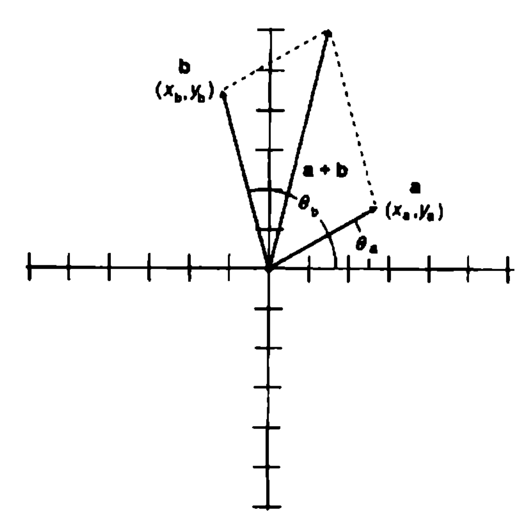
الشعاع هو التمثيل الرياضي لمقدار ذي خاصتين مستقلتين متغيرتين هما الطويلة (magnitude) والاتجاه (direction).

الأشعة في المستوي XY Vectors in the XY-plane

يمكن تمثيل شعاعين a, b في المستوي xy بواسطة سهمين من المبدأ $(0,0)$ باتجاه النقطتين (x_a, y_a) و (x_b, y_b) كما هو مبين في الشكل 6.6.

تعطى طويلة a، وتكتب بالشكل $|a|$، بالعلاقة التالية:

$$|a| = (x_a^2 + x_a^2)^{1/2}$$



الشكل 6.6: الأشعة في المستوي XY

أما اتجاه الشعاع a فيحدد بالزاوية θ_a، والمقاسة بعكس عقارب الساعة، التي يصنعها الشعاع مع المحور x الموجب.

$$\text{dir } a = \theta_a = \arctan(y_a/x_a) = \tan^{-1}(y_a/x_a)$$

من الواضح أن θ_a محصورة بالمجال:

$0 \le \theta_a \le 360^0$ حيث θ_a مقدرة بالدرجات

$0 \le \theta_a \le 2\pi$ حيث θ_a مقدرة بالراديان

مجموع الشعاعين a, b هو:

$$a + b = [(x_a + x_b), (y_a + y_b)]$$

يمكن إيجاد المجموع هندسياً برسم متوازي الأضلاع الذي يشكل a, b ضلعين فيه. عندها يكون a + b هو القطر الكبير لمتوازي الأضلاع.

ملاحظة : يمثل القطر الصغير فرق الشعاعين (a-b).

الجداء السلمي (scalar product أو dot product) للشعاعين a, b، يكتب بالشكل a • b، وهو عدد حقيقي يحسب بالعلاقة:

$$a \bullet b = x_a \times x_b + y_a \times y_b$$

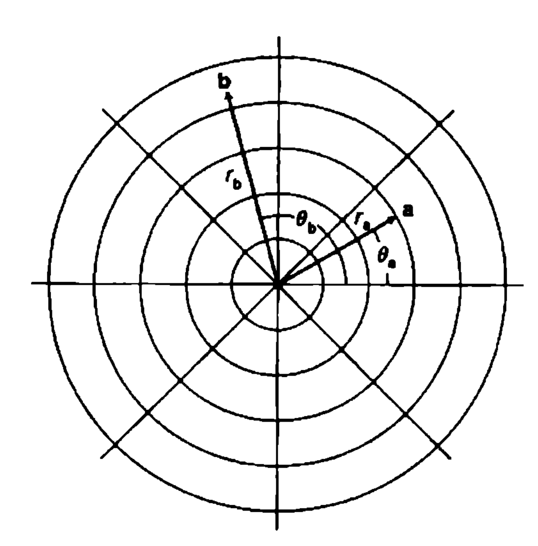
أما الجداء الشعاعي (Vector product أو cross product) للشعاعين a, b، فيكتب بالشكل a × b، وهو شعاع عمودي على المستوي xy (الذي يحوي الشعاعين a, b). تحسب طويلة هذا الشعاع الناتج بواسطة العلاقة:

$$|a \times b| = |a| \times |b| \times \sin\left[\tan^{-1}(y_b/x_b - y_a/x_a)\right]$$

إذا كانت زاوية الاتجاه (θ_b) أكبر من زاوية الاتجاه (θ_a) (كما هو مبين في الشكل 6.6) عندها يكون الشعاع a × b خارجاً من المستوي (باتجاه الأعلى). أما إذا كانت $\theta_a < \theta_b$ عندها يكون اتجاه الشعاع a × b داخلا إلى المستوي (إلى الأسفل).

الأشعة في المستوي القطبي Vectors in the polar plane

يمكن رسم الأشعة a, b في مستوي الإحداثيات القطبية كأسهم تنطلق من المبدأ (0,0) إلى النقطتين (r_a, θ_a) و (r_b, θ_b)، كما هو مبين في الشكل 6.7.



الشكل 6.7: الأشعة في المستوي القطبي

تعرف طويلة واتجاه الشعاع (a) في مستوي الإحداثيات القطبية بالشكل:

$$|a| = r_a$$

$$\text{dir } a = \theta_a$$

يكون عندها لدينا:

$r \geq 0$

$0 \leq \theta_a \leq 360$ حيث θ_a مقدرة بالدرجات

$0 \leq \theta_a \leq 2\pi$ حيث θ_a مقدرة بالراديان

يمكن بسهولة حساب مجموع الشعاعين a, b بالعودة إلى الإحداثيات المتعامدة (المستوي xy)، وجمع الشعاعين تبعاً للعلاقة الخاصة بهذه الإحداثيات،

ومن ثم تحويل الشعاع الناتج إلى الإحداثيات القطبية. لتحويل شعاع a من الإحداثيات القطبية إلى الإحداثيات المتعامدة نستخدم العلاقات:

$$x_a = r_a \times \cos \theta_a$$
$$y_a = r_a \times \sin \theta_a$$

لتحويل شعاع من الإحداثيات المتعامدة إلى الإحداثيات القطبية نستخدم العلاقات:

$$r_a = (x_a^2 + y_a^2)^{1/2}$$

$$\theta_a = \arctan (y_a/x_a) = \tan^{-1}(y_a/x_a)$$

يعطى الجداء السلمي لشعاعين a, b في المستوي القطبي بالعلاقة:

$$a \bullet b = |a| \times |b| \times \cos (\theta_b - \theta_a)$$

أما الجداء الشعاعي لشعاعين a, b في المستوي القطبي فهو شعاع عمودي على هذا المستوي. وتعطى طويلة الشعاع الناتج بالعلاقة:

$$|a \times b| = |a| \times |b| \times \sin(\theta_b - \theta_a)$$

إذا كانت زاوية الاتجاه $\theta_b > \theta_a$ (كما هو مبين في الشكل 6.6) عندها يكون اتجاه الشعاع $a \times b$ خارجاً من المستوي (باتجاه الأعلى). أما إذا كانت $\theta_b < \theta_a$ عندها يكون اتجاه الشعاع $a \times b$ داخلاً إلى المستوي (إلى الأسفل).

Vectors in xyz-space — الأشعة في الفراغ xyz

يمكن تمثيل الشعاعين a, b في الفراغ xyz المتعامد بواسطة سهمين ينطلقان من المبدأ (0,0,0) باتجاه النقاط (x_a,y_a,z_a) و (x_b,y_b,z_b). عندها تعطى طويلة a بالعلاقة:

$$|a| = (x_2 + y_2 + z_2)^{1/2}$$

يتم تحديد اتجاه a بمعرفة الزوايا $\theta^x, \theta^y, \theta^z$. التي يصنعها الشعاع a مع المحاور x, y, z بالترتيب. نسمي هذه الزوايا الثلاث، والتي يعبر عنها بالثلاثية المرتبة ($\theta^x, \theta^y, \theta^z$) بواحدة الراديان، بزوايا اتجاه الشعاع a. غالباً، يتم تحديد تجيب هذه الزوايا. ندعو هذه المقادير تجيب اتجاه الشعاع a:

$$\text{dir } a = (\alpha, \beta, \gamma)$$
$$\alpha = \cos \theta_x$$
$$\beta = \cos \theta_y$$
$$\gamma = \cos \theta_z$$

مجموع الشعاعين a, b هو:

$$a + b = [(x_a + x_b), (y_a + y_b), (z_a + z_b)]$$

يمكن تحديد شعاع المجموع هندسياً، كما في حالة الفضاء ثنائي البعد، وذلك برسم متوازي الأضلاع المتشكل من a, b. عندئذ يكون المجموع a + b هو قطر متوازي الأضلاع الكبير.

الجداء السلمي ($a \bullet b$) لشعاعين a, b في الفضاء xyz هو عدد حقيقي يعطى بالعلاقة:

$$a \bullet b = x_a \times x_b + y_a \times y_b + z_a \times z_b$$

أما الجداء الشعاعي $a \times b$ لشعاعين a, b في الفضاء xyz فهو شعاع عمودي على المستوي p الذي يحوي الشعاعين. وتعطى طويلة هذا الشعاع بالعلاقة:

$$|a \times b| = |a| \times |b| \times \sin \theta_{ab}$$

حيث θ_{ab} هي الزاوية بين الشعاعين a, b المقاسة في المستوي P، وبعكس اتجاه عقارب الساعة.

إذا نظرنا إلى a, b من نقطة من مستقيم عمودي على P ويتقاطع معه في المبدأ، وكانت θ_{ab} باتجاه عكس عقارب الساعة من a إلى b، عندها يتجه الشعاع $a \times b$ باتجاه الناظر. وإذا كانت θ_{ab} باتجاه عقارب الساعة من a إلى b، عندها يتجه الشعاع $a \times b$ بعكس اتجاه الناظر (مبتعداً عنه).

/ 7 /

التفاضل والتكامل

Differentiation and Integration

يحوي هذا الفصل تعاريف وعلاقات تخص الحسابات التكاملية والتفاضلية الأساسية.

المشتقات Derivatives

ليكن f تابعاً حقيقياً (أي منطلقه هو مجموعة $A \subseteq \mathbb{R}$، حيث $\mathbb{R}$ مجموعة الأعداد الحقيقية)، و x_0 هو عنصر من منطلق f، و y_0 هو عنصر من مستقر f بحيث يكون $y_0 = f(x_0)$. بفرض أن f مستمر في جوار النقطة (x_0,y_0)، كما هو مبين في الشكل 7.1.

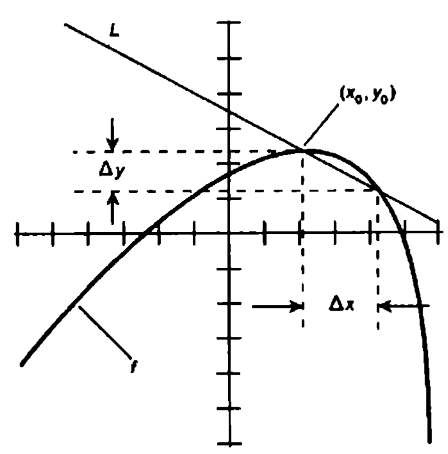
ليكن Δx تغيراً صغيراً في x، وΔy التغير في $y = f(x)$ الناتج عن Δx. عندها نعرف المشتق في النقطة (x_0,y_0) بالشكل:

$$f'(x_0) = \mathrm{Lim}_{\Delta x \to 0} (\Delta y/\Delta x)$$

إذا كان f مستمراً عند كل النقاط (x_0) من المنطلق، عندها يمكن ترميز المشتق وفق عدة طرق:

$$f'(x) = \frac{d}{dx}(f) = \frac{df}{dx} = \frac{dy}{dx}$$

في الشكل 7.1، يتقارب ميل المستقيم L من $f'(x_0)$ عندما $\Delta x \to 0$. لهذا السبب، يتم توصيف المشتق $f'(x_0)$ بيانياً بأنه ميل المستقيم المماس لمنحني f عند النقطة (x_0,y_0).



الشكل 7.1 : يمثل المشتق ميل المماس في النقطة (x_0,y_0)

المشتق الثاني Second derivative

المشتق الثاني لتابع (f) هو مشتق مشتقه. يمكن التعبير عن ذلك بعدة طرق هي:

$$f''(x) = \frac{d^2}{dx^2}(f) = \frac{d^2f}{dx^2} = \frac{d^2y}{dx^2}$$

مشتقات المراتب العليا Higher-order derivatives

المشتق من المرتبة n لتابع (f) هو التابع الناتج عن اشتقاق (f) n مرة بشكل متتال؛ حيث n هو عدد صحيح موجب. يمكن كتابة ذلك بالشكل:

$$f^{(n)}(x) = \frac{d^n}{dx^n}(f) = \frac{d^n f}{dx^n} = \frac{d^n y}{dx^n}$$

مشتق مجموع أو فرق Sum and difference of derivatives

ليكن لدينا f, g تابعين مختلفين، وليكن $f + g = f(x) + g(x)$ من أجل جميع النقاط x التي تنتمي إلى منطلقي التابعين . عندها يكون:

$$\frac{d(f+g)}{dx} = \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dx}$$

$$\frac{d(f-g)}{dx} = \frac{df}{dx} - \frac{dg}{dx}$$

الضرب بعدد ثابت Multiplication by a constant

ليكن f تابعاً حقيقياً، وليكن x عنصراً من منطلقه، وليكن c ثابتاً. عندها يكون لدينا:

$$\frac{d(c \times f)}{dx} = c \times \frac{df}{dx}$$

مشتق جداء Product of derivatives

ليكن f, g تابعين مختلفين، ولنعرف $f \times g = f(x) \times g(x)$ من أجل جميع النقاط x التي تنتمي إلى منطلقي التابعين . عندها يكون:

$$\frac{d(f \times g)}{dx} = f \times \frac{dg}{dx} + g \times \frac{df}{dx}$$

Quotient of derivatives مشتق كسر

ليكن f, g تابعين مختلفين، لنعرف $f/g = f(x)/g(x)$ من أجل جميع النقاط x التي تنتمي إلى منطلقي التابعين ، عندها يكون:

$$\frac{d(f/g)}{dx} = [g \times (\frac{df}{dx}) - f \times (\frac{dg}{dx})]/g^2$$

حيث $g^2 = [g(x) \times g(x)]$

Function raised to a power مشتق تابع مرفوع إلى قوة

ليكن f تابعاً، و x عنصراً من منطلقه، وليكن n عدداً صحيحاً موجباً؛ عندئذ يكون:

$$\frac{d(f^n)}{dx} = n(f^{n-1}) \times \frac{df}{dx}$$

حيث f^n هو جداء التابع f بنفسه n مرة (إنه ليس مشتق f من المرتبة n).

Table of derivatives جدول المشتقات

يسرد الجدول 7.1 بعض التوابع الشهيرة ومشتقاتها.

الجدول 7.1: المشتقات. الحروف a, b, c تمثل ثوابت؛ الحروف f, g, h تمثل توابع؛ تمثل الحروف m, n, p أعداد صحيحة؛ تمثل w, x, y, z متحولات؛ e الثابت الأسي (تقريباً 2.71828).

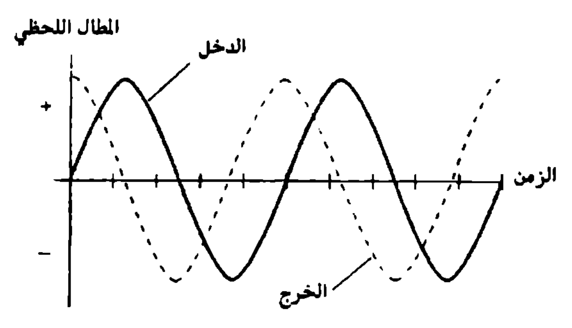
التابع	المشتق
$f(x) = a$	$f'(x) = 0$
$f(x) = a \times x$	$f'(x) = a$
$f(x) = a \times x^n$	$f'(x) = a \times n \times x^{n-1}$

التابع	المشتق
$f(x) = 1/x$	$f'(x) = -1/x^2$
$f(x) = \ln x$	$f'(x) = 1/x$
$f(x) = \ln g(x)$	$f'(x) = g^{-1}(x) \times g'(x)$
$f(x) = 1/x^a$, $a \phi \neq 0$	$f'(x) = -a/x^{a+1}$
$f(x) = e^x$	$f'(x) = e^x$
$f(x) = a^x$	$f'(x) = a^x \times \ln a$
$f(x) = a^{g(x)}$	$f'(x) = a^{g(x)} \times g'(x) \times \ln a$
$f(x) = e^{ax}$	$f'(x) = a \times e^{ax}$
$f(x) = e^{g(x)}$	$f'(x) = e^{g(x)} \times g'(x)$
$f(x) = \sin x$	$f'(x) = \cos x$
$f(x) = \cos x$	$f'(x) = -\sin x$
$f(x) = \tan x$	$f'(x) = \sec^2 x$
$f(x) = \csc x$	$f'(x) = -\csc x \times \cot x$
$f(x) = \sec x$	$f'(x) = -\sec x \times \tan x$
$f(x) = \cot x$	$f'(x) = -\csc^2 x$
$f(x) = \arcsin x = \sin^{-1} x$	$f'(x) = 1/(1-x^2)^{1/2}$
$f(x) = \arccos x = \cos^{-1} x$	$f'(x) = -1/(1-x^2)^{1/2}$
$f(x) = \arctan x = \tan^{-1} x$	$f'(x) = 1/(1+x^2)$
$f(x) = \text{arccsc}\, x = \csc^{-1} x$	$f'(x) = -1/[x \times (x^{2-1})^{1/2}]$
$f(x) = \text{arcsec}\, x = \sec^{-1} x$	$f'(x) = 1/[x \times (x^{2-1})^{/2}]$
$f(x) = \text{arccot}\, x = \cot^{-1} x$	$f'(x) = -1/(1+x^2)$
$f(x) = \sinh x$	$f'(x) = \cosh x$
$f(x) = \cosh x$	$f'(x) = \sinh x$
$f(x) = \tanh x$	$f'(x) = \text{sech}^2 x$
$f(x) = \text{csch}\, x$	$f'(x) = -\text{csch}\, x \times \coth x$
$f(x) = \text{sech}\, x$	$f'(x) = -\text{sech}\, x \times \tanh x$

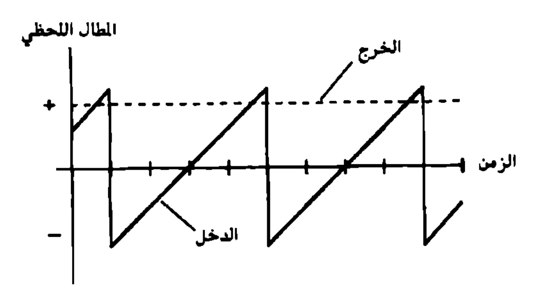
المشتق	التابع
$f'(x) = -csch^2 x$	$f(x) = coth\ x$
$f'(x) = 1/(x^2+1)^{1/2}$	$f(x) = arcsinh\ x = sinh^{-1} x$
$f'(x) = 1/(x^2-1)^{1/2}$	$f(x) = arcosh\ x = cosh^{-1} x$
$f'(x) = 1/(1-x^2)$	$f(x) = arctanh\ x = tanh^{-1} x$
$f'(x) = -1/[x \times (1+x^2)^{1/2}]$ for $x > 0$	$f(x) = arccsch\ x = csch^{-1} x$
$f'(x) = 1/[x \times (1+x^2)^{1/2}]$ for $x < 0$	
$f'(x) = -1/[x \times (1-x^2)^{1/2}]$ for $x > 0$	$f(x) = arcsech\ x = sech^{-1} x$
$f'(x) = 1/[x \times (1-x^2)^{1/2}]$ for $x < 0$	
$f'(x) = 1/(1-x^2)$	$f(x) = arccoth\ x = coth^{-1} x$

Waveform derivatives المنحني البياني للمشتقات

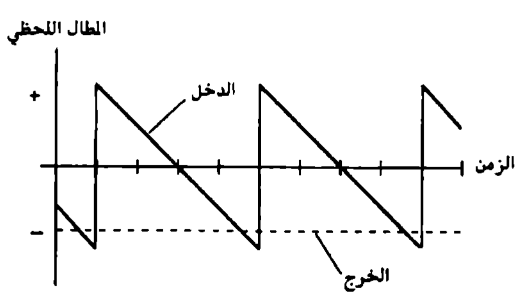
تبين الأشكال 7.2 حتى 7.6 عدة منحنيات بيانية لتوابع ومشتقاتها. وقد تم الحصول على هذه المنحنيات بتمرير إشارة مولد إشارة عبر دارة مفاضل.



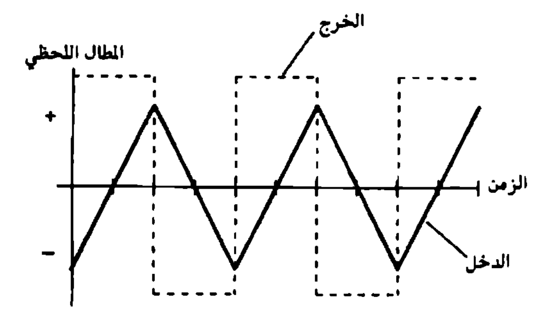
الشكل 7.2: ناتج تمرير إشارة الجيب على دارة مفاضل



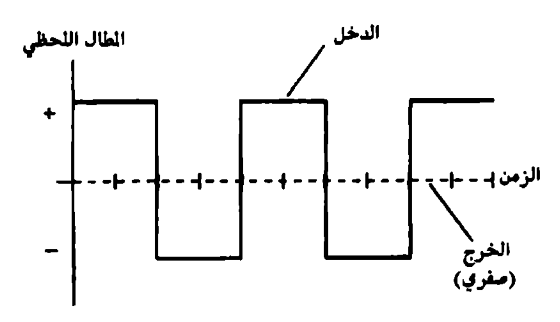
الشكل 7.3: ناتج تمرير إشارة سن المنشار الأمامية على دارة مفاضل



الشكل 7.4: ناتج تمرير إشارة سن المنشار الخلفية على دارة مفاضل



الشكل 7.5: ناتج تمرير إشارة مثلثية على دارة مفاضل



الشكل 7.6: ناتج تمرير إشارة مربعة على دارة مفاضل

التكامل Integrals

عموماً، يعد التكامل العملية المعاكسة للتفاضل. تستخدم حسابات التكامل لإيجاد المساحة، والحجم، والمقادير التراكمية.

التكامل غير المحدود Indefinite Integral

ليكن لدينا f(x) تابع معرف ومستمر للمتحول (x). التكامل غير المحدود (أو التابع الأصلي) للتابع f هو تابع (F) يحقق العلاقة $f = dF/dx$. ونكتب ذلك بالشكل:

$$\int f(x)dx = F(x) + c$$

حيث c عدد حقيقي، وdx هو تفاضل x (يستخدم في كل التكاملات غير المحدودة).

ثابت التكامل Constant of Integrations

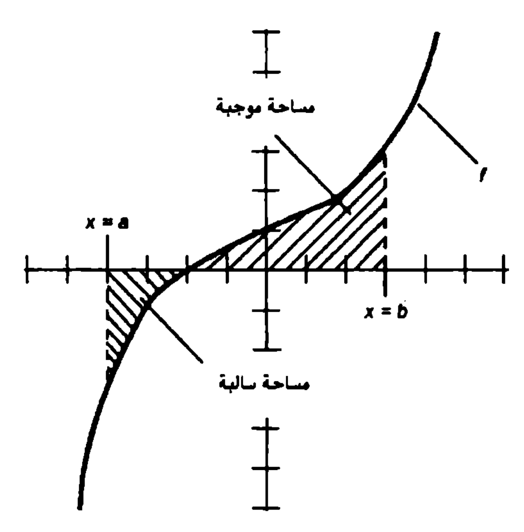
هناك عدد غير منته من التوابع الأصلية لتابع ما، وهي تختلف عن بعضها بعدد حقيقي. إذا كان التابع $F_a(x)$ تابعاً أصلياً للتابع f(x)، عندها $F_b(x) = F_a(x) + c$ هو أيضاً تابع أصلي للتابع f(x). نسمي عندها c ثابت التكامل.

التكامل المحدود Definite Integral

ليكن f(x) تابعاً معرفاً ومستمر على المجال من x = a حتى x = b. وليكن F أي تابع أصلي للتابع f. التكامل المحدود للتابع f من a إلى b هو:

$$F(a) - F(b)$$

يحذف ثابت التكامل في التكامل المحدود لأنه يطرح من نفسه. يمكن توصيف التكامل المحدود على أنه المساحة المعينة بمنحني التابع في الإحداثيات المتعامدة (الشكل 7.7). تعد المساحات فوق المحور x موجبة، والمساحات تحت المحور x سالبة.



الشكل 7.7: يمثل التكامل المحدود مساحة السطح تحت منحني التابع المحصور ضمن مجال التكامل

الخطية Linearity

ليكن f، g تابعين معرفين ومستمرين للمتحول x. وليكن a,b عددين ثابتين حقيقيين. عندئذ يكون:

$$\int [a \times f(x) + b \times g(x)]dx = a \times \int f(x)dx + b \times \int g(x)dx$$

التكامل بالتجزئة Integration by Parts

ليكن f، g تابعين معرفين ومستمرين للمتحول x، وليكن F التابع الأصلي لـ f. يكون عندئذ:

$$\int [f(x) \times g(x)]dx = F(x) \times g(x) - \int [F(x) \times \frac{dg}{dx}]dx$$

جدول التكاملات غير المحدودة Table of indefinite integrals

يبين الجدول 7.2 بعض التوابع الشهيرة وتكاملاتها غير المحدودة.

الجدول 7.2: التكاملات غير المحدودة. تمثل الحروف a, b, c ثوابتاً، وتمثل f, g, h توابعاً، فيما تمثل m, n, p أعداداً صحيحة، أما w, x, y, z فتمثل متحولات. ويمثل الحرف e الثابت الأسي (تقريباً يساوي 2.71828).

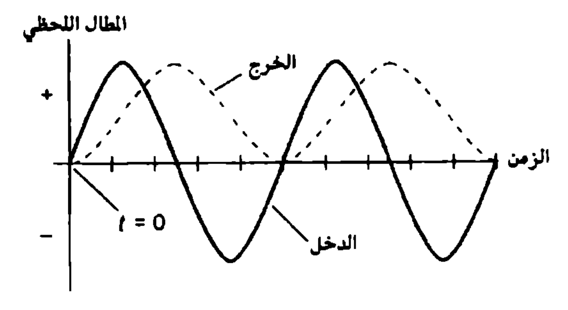
التكامل	التابع
$\int f(x)\, dx = c$	$f(x) = 0$
$\int f(x)\, dx = x + c$	$f(x) = 1$
$\int f(x)\, dx = ax + c$	$f(x) = a$
$\int f(x)\, dx = x^2/2 + c$	$f(x) = x$
$\int f(x)\, dx = a \times x^2/2 + c$	$f(x) = a \times x$
$\int f(x)\, dx = a \times x^3/3 + c$	$f(x) = a \times x^2$

التابع	التكامل
$f(x) = a \times x^3$	$\int f(x)\,dx = a \times x^4/4 + c$
$f(x) = a \times x^4$	$\int f(x)\,dx = a \times x^5/5 + c$
$f(x) = a/x = a \times x^{-1}$	$\int f(x)\,dx = a \times \ln\|x\| + c$
$f(x) = a/x^2 = a \times x^{-2}$	$\int f(x)\,dx = -a/x + c$
$f(x) = a/x^3 = a \times x^{-3}$	$\int f(x)\,dx = -a/(2 \times x^2) + c$
$f(x) = a/x^4 = a \times x^{-4}$	$\int f(x)\,dx = -a/(3 \times x^3) + c$
$f(x) = a \times x^n$	$\int f(x)\,dx = [a \times x^{n+1}/(n+1)] + c$ for $n= -1$
$f(x) = a \times g(x)$	$\int f(x)\,dx = a \times \int g(x)\,dx + c$
$f(x) = g(x) + h(x)$	$\int f(x)\,dx = \int g(x)\,dx + \int h(x)\,dx + c$
$f(x) = h(x) \times g'(x)$	$\int f(x)\,dx = g(x) \times h(x) - \int g(x) \times h'(x) + c$
$f(x) = e^x$	$\int f(x)\,dx = e^x + c$
$f(x) = a \times e^{bx}$	$\int f(x)\,dx = (a \times e^{bx})/b + c$
$f(x) = \ln x$	$\int f(x)\,dx = x \times \ln x - x + c$
$f(x) = \sin x$	$\int f(x)\,dx = -\cos x + c$
$f(x) = \cos x$	$\int f(x)\,dx = \sin x + c$
$f(x) = \tan x$	$\int f(x)\,dx = \ln\|\sec x\| + c$
$f(x) = scs\ x$	$\int f(x)\,dx = \ln\|\tan(x/2)\| + c$
$f(x) = ssc\ x$	$\int f(x)\,dx = \ln\|\sec x + \tan x\| + c$
$f(x) = \cot x$	$\int f(x)\,dx = \ln\|\sin x\| + c$
$f(x) = \sec x \times \tan x$	$\int f(x)\,dx = \sec x + c$
$f(x) = \sin^2 x$	$\int f(x)\,dx = \{x - [\sin(2 \times x)]/2\}/2 + c$
$f(x) = \cos^2 x$	$\int f(x)\,dx = \{x + [\sin(2 \times x)]/2\}/2 + c$

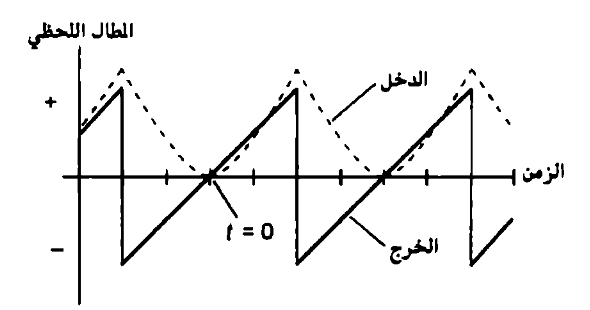
التكامل	التابع
$\int f(x)\,dx = \cosh x + c$	$f(x) = \sinh x$
$\int f(x)\,dx = \sinh x + c$	$f(x) = \cosh x$
$\int f(x)\,dx = \ln\lvert\cosh x\rvert + c$	$f(x) = \tanh x$
$\int f(x)\,dx = \ln\lvert\tanh(x/2)\rvert + c$	$f(x) = \mathrm{csch}\, x$
$\int f(x)\,dx = 2 \times \arctan(e^x) + c$	$f(x) = \mathrm{csch}\, x$
$= 2 \times \tan^{-1}(e^x) + c$.	
$\int f(x)\,dx = \ln\lvert\sinh x\rvert + c$	$f(x) = \coth x$

المنحني البياني للتكامل — Waveform integrals

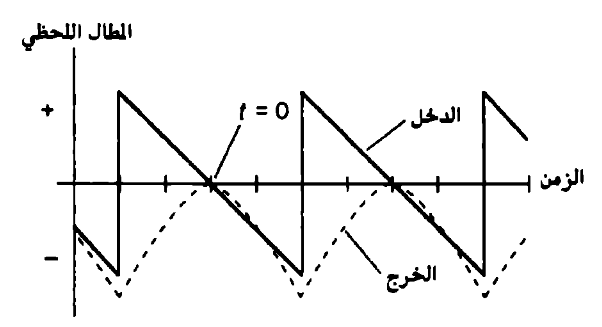
تبين الأشكال من 7.8 حتى 7.12 العديد من المنحنيات البيانية التي توضح تكامل الإشارات الشهيرة بعد تمريرها على دارة مكامل.



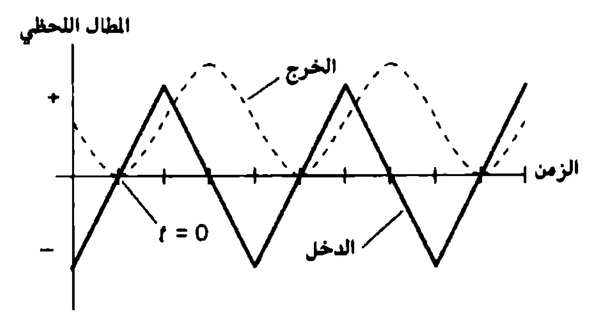
الشكل 7.8: تمرير إشارة الجيب عبر دارة مكامل



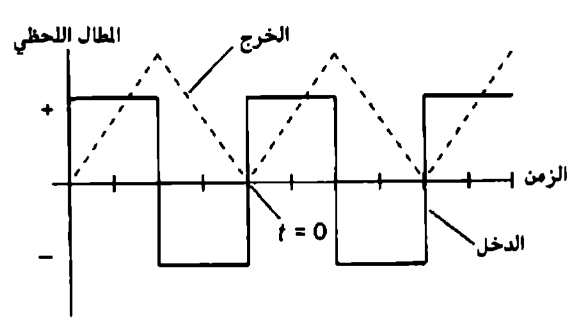
الشكل 7.9: تمرير إشارة سن المنشار الأمامية عبر دارة مكامل



الشكل 7.10: تمرير إشارة سن المنشار الخلفية عبر دارة مكامل



الشكل 7.11: تمرير إشارة مثلثية عبر دارة مكامل



الشكل 7.12: تمرير إشارة مربعة عبر دارة مكامل

تؤثر لحظة البداية (t = 0) لدور إشارة الدخل على الخرج في بعض الحالات. ويتعلق ثابت التكامل، الذي يظهر كتيار مستمر في إشارة الخرج، بالنقطة المقابلة للحظة t = 0. تبين الرسومات السابقة أمثلة خاصة من أجل t = 0 كما هو مبين.

/ 8 /

التيار المستمر

Direct current

يحوي هذا الفصل علاقات تشمل كمية شحنة التيار المستمر (DC)، وشدته مقدرة بالأمبير، والجهد، والمقاومة، والاستطاعة، والطاقة.

شحنة التيار المستمر DC Charge

الواحدة القياسية لكمية الشحنة الكهربائية، التي نرمزها Q، هي **الكولون**. وتكافئ الشحنة المحتواة في حوالي 6.24×10^{18} إلكترون.

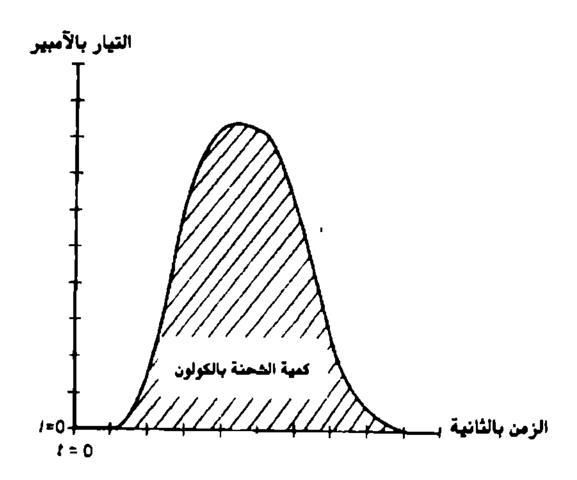
علاقة الشحنة بالتيار والزمن Charge vs. current and time

لتكن Q كمية الشحنة مقدرة بالكولون، وليكن I التيار المستمر مقدراً بالأمبير، وليكن t الزمن مقدراً بالثانية. عندئذ يكون لدينا العلاقة:

$$Q = \int I \, dt$$

يوضح الشكل 8.1 هذه العلاقة. إذا بقي التيار ثابتاً مع الزمن عندها تصبح العلاقة السابقة:

$$Q = I \times t$$



الشكل 8.1: الشحنة الكهربائية كتابع للتيار والزمن

قانون كولون Coulomb's law

لتكن F تمثل القوة بواحدة النيوتن، ولتكن Q_x و Q_y تمثلان شحنتين في جسمين منفصلين X و Y، ولتكن d هي المسافة بين مركزي شحنتي الجسمين X و Y. عندئذ يكون لدينا:

$$F = (Q_x \times Q_y)/d^2$$

إذا كانت الشحنتان متماثلتين بالقطبية (+/+ أو -/-)، عندها تكون F موجبة (نابذة). أما إذا كانت الشحنتان متعاكستين (-/+ أو +/-)، فعندها تكون F سالبة (جاذبة).

شدة التيار المستمر DC Amperage

الواحدة القياسية لشدة التيار المستمر، الذي نرمزه I، هي الأمبير. وهي تكافئ مرور شحنة قدرها كولون واحد عبر نقطة ما خلال زمن قدره ثانية واحدة، وفي نفس الاتجاه دوماً.

الشحن والتفريغ Charging and Discharging

ليكن $I_{c/d}$ هو تيار الشحن والتفريغ اللحظي مقدراً بالأمبير. وليكن t هو الزمن مقدرا بواحدة الساعة. عندئذ يكون مقدار الشحنة المتجمعة أو المفرغة (Q_{Ah}) مقدرة بواحدة أمبير-ساعي هي:

$$Q_{Ah} = \int I_{c/d}\, dt$$

إذا كان معدل الشحن أو التفريغ ثابتاً عندها يكون:

$$Q_{Ah} = I_{c/d} \times t$$

علاقة التيار بالشحنة والزمن Current vs. Charge and Time

لتكن Q هي مقدار الشحنة مقدرة بالكولون. وليكن t هو الزمن مقدراً بالثانية. عندها يكون تيار الشحن أو التفريغ اللحظي ($I_{c/d}$) مقدراً بالأمبير معطى بالعلاقة التالية:

$$I_{c/d} = dQ/dt$$

إذا كان معدل الشحن أو التفريغ ثابتاً خلال مجال يبدأ من t_1 وينتهي عند t_2، عندئذ يكون:

$$I_{c/d} = (Q_2 - Q_1)/(t_2 - t_1)$$

حيث Q_1 هي الشحنة في اللحظة t_1، Q_2 هي الشحنة في اللحظة t_2. في هذه العلاقات، يكون التيار $I_{c/d}$ موجباً في حالة الشحن، وسالباً في حالة التفريغ.

قانون أوم الخاص بشدة التيار Ohm's law for DC Amperage

ليكن V هو الجهد (بواحدة الفولت) الهابط على عنصر ما، ولتكن R هي مقاومة (بواحدة الأوم) هذا العنصر. عندها يكون التيار I (بواحدة الأمبير) المار عبر هذا العنصر هو:

$$I = V/R$$

علاقة التيار بالجهد والاستطاعة Current vs. Voltage and Power

ليكن V فرق الجهد (بواحدة الفولت) بين طرفي عنصر ما، ولتكن P هي الاستطاعة المبددة أو المنتشرة في العنصر (بواحدة الواط). عندئذ يكون التيار I المار عبر هذا العنصر هو:

$$I = P/V$$

علاقة التيار بالجهد، والطاقة، والزمن

Current vs. Voltage, Energy, and Time

ليكن V فرق الجهد (بواحدة الفولت) بين طرفي عنصر ما، ولتكن E هي الطاقة (بواحدة الجول) المبددة أو المنتشرة في العنصر خلال فترة t من الزمن (بالثانية). عندئذ يكون التيار I (بواحدة الأمبير) الذي يمر عبر هذا العنصر هو:

$$I = E/(V \times t)$$

علاقة التيار بالمقاومة والاستطاعة

Current vs. Resistance and Power

لتكن R هي المقاومة (بالأوم) لعنصر، ولتكن P هي الاستطاعة (بالواط) المبددة أو المنتشرة في العنصر. عندئذ يكون التيار I (بالأمبير) المار عبر هذا العنصر هو:

$$I = (P/R)^{1/2}$$

علاقة التيار بالمقاومة، والطاقة، والزمن

Current vs. Resistance, Energy, and Time

لتكن R هي المقاومة (بالأوم) لعنصر ما، ولتكن E هي الطاقة (بالجول) المبددة أو المنتشرة في العنصر خلال فترة زمنية t (بالثانية). عندئذ يكون التيار I (بالأمبير) المار عبر هذا العنصر هو:

$$I = [E/(R \times t)]^{1/2}$$

قانون كيرشوف الخاص بالتيار المستمر

Kirchhoff's law for DC Amperage

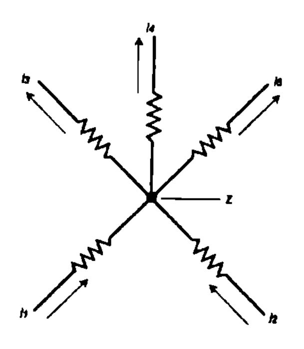
التيار الداخل إلى أية نقطة من الدارة يساوي إلى نفس التيار الخارج منها. يبين الشكل 8.2 مثالاً عن ذلك. إذا كان I_{in} هو التيار الكلي الداخل إلى نقطة التفرع (Z)، وكان I_{out} هو التيار الكلي الخارج من النقطة Z، عندئذ يكون:

$$I_{in} = i_{out}$$

$$I_{in} = I_1 + I_2$$

$$I_{out} = I_3 + I_4 + I_5$$

$$\therefore > I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$



الشكل 8.2: قانون كيرشوف للتيار

الجهد المستمر DC Voltage

الواحدة القياسية للجهد المستمر (DC)، يدعى أيضاً فرق الجهد أو القوة المحركة الكهربائية (EMF)، هي الفولت. يرمز للجهد في هذا الفصل بالحرف V، بالمقابل قد يرمز له أحياناً بالحرف E في حال لم يكن هناك خلط بينه وبين رمز الطاقة. يمثل واحد فولت القوة المحركة الكهربائية (EMF) اللازمة لمرور تيار قدره واحد أمبير في مقاومة قدرها واحد أوم.

قانون أوم الخاص بالجهد المستمر Ohm's law for DC Voltage

ليكن I هو التيار (بالأمبير) المار عبر عنصر ما، ولتكن R هي مقاومة هذا العنصر (بالأوم). عندئذ يكون فرق الجهد V (بالفولت) بين طرفي هذا العنصر هو:

$$V = I \times R$$

علاقة الجهد بالتيار والاستطاعة

Voltage vs. Current and Power

ليكن I هو التيار (بالأمبير) المار عبر عنصر ما، ولتكن P هي الاستطاعة المبددة أو المنتشرة بين طرفي هذا العنصر (بالواط). عندئذ يكون فرق الجهد V (بالفولت) بين طرفي هذا العنصر هو:

$$V = P/I$$

علاقة الجهد بالتيار، والطاقة، والزمن

Voltage vs. Current, Energy, and Time

ليكن I هو التيار (بالأمبير) المار عبر عنصر ما، ولتكن E هي الطاقة (بالجول) المبددة أو المنتشرة بين طرفي هذا العنصر خلال فترة زمنية t (بالثانية).

عندئذ يكون فرق الجهد V (بالفولت) بين طرفي هذا العنصر هو:

$$V = E/(I \times t)$$

علاقة الجهد بالمقاومة والاستطاعة

Voltage vs. Resistance, Energy, and Time

لتكن R هي مقاومة (بالأوم) عنصر ما، ولتكن P هي الاستطاعة (بالواط) المنتشرة أو المبددة في هذا العنصر. عندئذ يكون فرق الجهد V (بالفولت) بين طرفي العنصر هو:

$$V = (P \times R)^{1/2}$$

علاقة الجهد بالمقاومة، والطاقة، والزمن

Voltage vs Resistance, Energy, and Time

لتكن R هي مقاومة (بالأوم) عنصر ما، ولتكن E هي الطاقة (بالجول) المبددة أو المنتشرة بين طرفي هذا العنصر خلال فترة زمنية t (بالثانية). عندئذ يكون فرق الجهد V (بالفولت) بين طرفي العنصر هو:

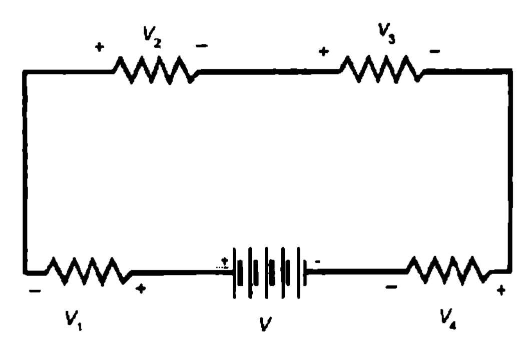
$$V = (E \times R/t)^{1/2}$$

قانون كيرشوف الخاص بالجهد المستمر

Kirchhoff's law for DC Voltage

في دارات التيار المستمر المغلقة، يكون مجموع الجهود على كل العناصر في أي حلقة من الدارة، مع اعتبار القطبية، يساوي الصفر. يبين الشكل 8.3 مثالا عن ذلك. لاحظ أن EMF للبطارية هي V، كما يوجد أربعة عناصر جهودها هي V_1، V_2، V_3، V_4. في هذه الحالة نحصل على المعادلات التالية:

$$V + V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 0$$
$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = -V$$
$$V = -(V_1 + V_2 + V_3 + V_4)$$



الشكل 8.3 : قانون كيرشوف للجهود

مقاومة التيار المستمر DC Resistance

الواحدة القياسية لمقاومة التيار المستمر، نرمزها R، هي الأوم. يكون لعنصر ما مقاومة قدرها واحد أوم عندما يؤدي تطبيق EMF قدرها فولت واحد إلى مرور تيار قدره أمبير واحد فيه، أو عندما يؤدي مرور تيار قدره واحد أمبير فيه إلى هبوط جهد قدره فولت واحد عليه.

قانون أوم الخاص بمقاومة التيار المستمر

Ohm's law for DC Resistance

ليكن I التيار (بالأمبير) الذي يمر عبر عنصر ما، ولتكن V هي فرق الجهد (بالفولت) بين طرفيه. عندئذ تكون مقاومة هذا العنصر R (بالأوم) هي:

$$R = V/I$$

علاقة المقاومة بالتيار والاستطاعة

Resistance vs. Current and Power

ليكن I التيار (بالأمبير) عبر عنصر ما، ولتكن P هي الاستطاعة (بالواط) المنتشرة أو المستهلكة. عندئذ تكون مقاومة هذا العنصر R (بالأوم) هي:

$$R = P/I^2$$

علاقة المقاومة بالتيار، الطاقة، والزمن

Resistance vs. Current, Energy, and Time

ليكن I التيار (بالأمبير) عبر عنصر ما، ولتكن E الطاقة (بالجول) المبددة أو المستهلكة خلال زمن t (بالثانية). عندئذ تكون مقاومة هذا العنصر R (بالأوم) هي:

$$R = E / (I^2 \times t)$$

علاقة المقاومة بالجهد والاستطاعة

Resistance vs. Voltage and Power

ليكن V هز فرق الجهد (بالفولت) بين طرفي عنصر ما، ولتكن P هي الاستطاعة (بالواط) المبددة أو المستهلكة. عندئذ تكون مقاومة هذا العنصر R (بالأوم) هي:

$$R = V^2/P$$

علاقة المقاومة بالجهد، الطاقة، والزمن

Resistance vs. Voltage, Energy, and time

ليكن V هو فرق الجهد (بالفولت) بين طرفي عنصر ما، ولتكن E هي الطاقة (بالجول) المبددة أو المستهلكة خلال زمن قدره t (بالثانية). عندئذ تكون مقاومة هذا العنصر R (بالأوم) هي:

$$R = V^2 \times t/E$$

DC Power الاستطاعة المستمرة

الواحدة القياسية للاستطاعة المستمرة (DC)، نرمز لها P، هي الواط (Watt). يبدد عنصر ما واحد واط عندما يمر فيه تيار قدره واحد أمبير، وعندما يكون فرق الجهد بين طرفيه واحد فولت.

Power vs. Energy and Time علاقة الاستطاعة بالطاقة والزمن

لتكن E الطاقة (بالجول) المبددة أو المستهلكة من قبل عنصر ما خلال فترة من الزمن قدرها t (بالثانية). عندئذ تكون P الاستطاعة المبددة أو المستهلكة (بالواط) هي:

$$P = E/t$$

علاقة الاستطاعة بالتيار والجهد
Power vs. Current and Voltage

ليكن I التيار (بالأمبير) المار عبر عنصر ما، ولتكن R مقاومة هذا العنصر (بالأوم). عندئذ تكون P الاستطاعة المستهلكة أو المبددة في هذا العنصر هي:

$$P = V \times I$$

علاقة الاستطاعة بالتيار والمقاومة
Power vs. Current and Resistance

ليكن I التيار (بالأمبير) المار عبر عنصر ما، ولتكن R مقاومة هذا العنصر (بالأوم). عندئذ تكون الاستطاعة المستهلكة أو المبددة في هذا العنصر هي:

$$P = I^2 \times R$$

علاقة الاستطاعة بالجهد والمقاومة

Power vs. Voltage and Resistance

لتكن V هي فرق الجهد (بالفولت) بين طرفي عنصر ما، ولتكن R هي مقاومة هذا العنصر (بالأوم). عندئذ تكون الاستطاعة المستهلكة أو المبددة (بالواط) هي:

$$P = V^2/R$$

الطاقة المستمرة DC Energy

الواحدة القياسية لطاقة التيار المستمر (DC)، نرمزها E، هي الجول (joule). يبدد عنصر ما واحد جول عندما يستهلك استطاعة متوسطة قدرها واط واحد خلال زمن قدره ثانية واحدة.

علاقة الطاقة بالاستطاعة والزمن Energy vs. Power and Time

لتكن P هي الاستطاعة (بالواط) المستهلكة أو المبددة في عنصر ما خلال زمن قدره t (بالثانية). عندئذ تكون الطاقة E (بالجول) هي:

$$E = \int P\, dt$$

إذا كانت الاستطاعة ثابتة خلال زمن t عندها يكون:

$$E = P \times t$$

علاقة الطاقة بالتيار، الجهد، والزمن

Energy vs. Current, Voltage, and Time

ليكن I التيار (بالأمبير) المار عبر عنصر ما، وليكن V هو هبوط الجهد (بالفولت) عليه. عندئذ تكون الطاقة E (بالجول) المبددة أو المستهلكة خلال زمن قدره t (بالثانية) هي:

$$E = \int (V \times I)\, dt$$

إذا كان كل من التيار والجهد ثابتين خلال الزمن t، عندها يكون:

$$E = V \times I \times t$$

علاقة الطاقة بالتيار، المقاومة، والزمن

Energy vs. Current, resistance and Time

ليكن I التيار (بالأمبير) المار عبر عنصر ما، ولتكن R هي مقاومته (بالأوم). عندئذ تكون الطاقة E (بالجول) المبددة أو المستهلكة خلال زمن قدره t (بالثانية) هي:

$$E = \int (I^2 \times R)\, dt$$

وإذا كانت المقاومة والتيار ثابتين خلال الزمن t، عندها يكون:

$$E = I^2 \times R \times t$$

علاقة الطاقة بالجهد، المقاومة، والزمن

Energy vs. Voltage, Resistance and Time

لتكن V هي هبوط الجهد (بالفولت) بين طرفي عنصر ما، ولتكن R هي مقاومته (بالأوم). عندئذ تكون الطاقة E (بالجول) المبددة أو المستهلكة خلال زمن قدره t (بالثانية) هي:

$$E = \int (V^2/R)\, dt$$

وإذا كانت المقاومة والجهد ثابتين خلال الزمن t، عندها يكون:

$$E = V^2 \times t/R$$

/ 9 /

التيار المتناوب

Alternating Current

يحوي هذا الفصل علاقات خاصة بتردد التيار المتناوب (AC)، بالإضافة إلى الصفحة، وشدة التيار، والجهد، والممانعة، والاستطاعة والطاقة.

التردد والصفحة Frequency and Phase

يرمز عادةً للتردد بالحرف f، وللدور بالحرف T، ولزاوية الصفحة بالحرف اليوناني Ø.

علاقة التردد بالدور Frequency vs. Period

ليكن f هو تردد موجة تيار متناوب (AC) (بالهرتز)، وليكن T هو الدور (بالثانية)، عندئذ يكون لدينا العلاقة:

$$f = 1/T$$

$$T = 1/f$$

العلاقتان السابقتان محققتان من أجل T مقدراً بالميلي ثانية (ms) وf مقدراً بالكيلوهرتز (KHz)؛ كذلك الأمر من أجل T مقدراً بالميكرو ثانية (µs) وf مقدراً

بالميغا هرتز (MHz). وهما أيضاً محققتان من أجل T مقدراً بالنانو ثانية (ns) و f بالجيغا هرتز (GHz)، وT مقدراً بالبيكو ثانية (ps) و f مقداراً بالتيرا هرتز (THz).

علاقة زاوية الصفحة بالزمن والتردد

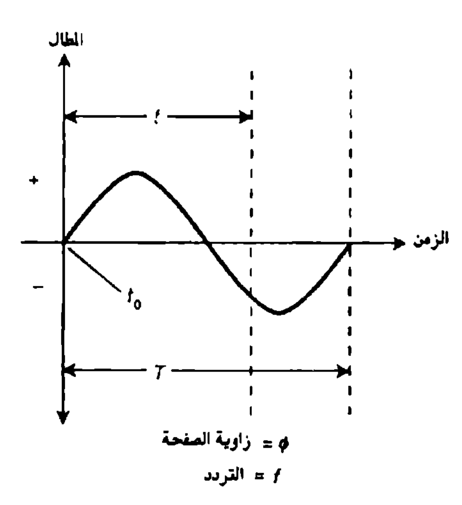
Phase angle vs. Time and Frequency

ليكن f هو تردد موجة متناوبة (بالهرتز)، وليكن t هو الزمن (بالثانية) الذي يلي اللحظة (t_0) التي يكون فيها المطال معدوماً ويبدأ بالتزايد (الشكل 9.1). عندئذ تصبح زاوية الصفحة (Ø)، مقدرة بالدرجة، معطاة بالعلاقة:

$$\varnothing = 360 \times f \times t$$

أما إذا كانت Ø مقدرة بالراديان فعندها يكون:

$$\varnothing = 2 \times \pi \times f \times t$$



الشكل 9.1: العلاقة بين التردد (f)، الدور (T)، الصفحة (Ø) والزمن (T) لحلقة موجة AC جيبية تبدأ عند $t_0 = t$

تعد العلاقات السابقة صحيحة من أجل t مقدراً بالميلي ثانية (ms) و f مقدراً بالكيلوهرتز (KHz)؛ كذلك الأمر من أجل t مقدراً بالميكرو ثانية (µs) و f مقدراً بالميغا هرتز (MHz). وهما أيضاً محققتان من أجل t مقدراً بالنانو ثانية (ns) و f بالجيغا هرتز (GHz)، و t بالبيكو ثانية (ps) و f بالتيرا هرتز (THz).

علاقة زاوية الصفحة بالزمن والدور

Phase angle vs. Time and Period

ليكن T هو دور موجة متناوبة (بالثانية)، وليكن t هو الزمن (بالثانية) الذي يلي اللحظة (t_0) التي يكون فيها المطال معدوماً ثم ويبدأ بالتزايد. عندئذ تكون زاوية الصفحة (∅)، مقدرة بالدرجة، هي:

$$\varnothing = 360 \times t/T$$

إذا كانت ∅ مقدرة بالراديان، عندها يكون:

$$\varnothing = 2 \times \pi \times t/T$$

تعد العلاقات السابقة صحيحة أيضاً من أجل t و T مقدرين بالميلي ثانية (ms)، بالميكرو ثانية (µs)، بالنانو ثانية (ns) وبالبيكوثانية (ps).

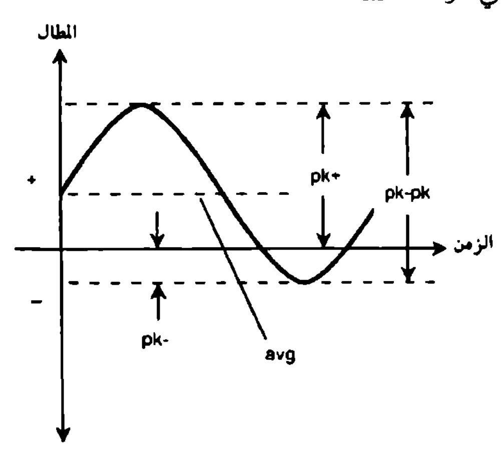
علاقات مطال التيار المتناوب

AC Amplitude Expressions

يمكن التعبير عن مطال موجة متناوبة بعدة طرق. وتطبق العلاقات التالية من أجل الموجات الجيبية، ويعبر عنها كعلاقة تابعة للجهد (V). كما تنطبق هذه العلاقات على التيار (I) أيضاً.

المطال اللحظي Instantaneous Amplitude

يتغير المطال اللحظي (V_{inst}) لموجة متناوبة جيبية بشكل دائم. ويبين الشكل 9.2 المطال اللحظي لموجة جيبية.



الشكل 9.2: قيم القمة الموجبة (pk+)، والقمة السالبة (pk-)، والقمة-للقمة (pk-pk)، والوسطي (avg) لموجة تيار متناوب.

مطال القمة الموجبة Positive Peak Amplitude

مطال القمة الموجبة (V_{PK+}) لموجة متناوبة جيبية هو الحد الأعظمي الموجب لـ V_{inst}. انظر الشكل 9.2.

مطال القمة السالبة Negative Peak Amplitude

مطال القمة السالبة (V_{PK-}) لموجة متناوبة جيبية هو الحد الأدنى السالب لـ V_{inst}. انظر الشكل 9.2.

المركبة المستمرة (DC) DC Component

المركبة المستمرة (V_{DC}) لموجة متناوبة جيبية هي المتوسط الحسابي لمطال القمة الموجبة والقمة السالبة:

$$V_{DC} = (V_{PK+} + V_{PK-})/2$$

المطال الوسطي Average Amplitude

المطال الوسطي (V_{avg}) لموجة متناوبة جيبية هو نفسه المركبة المستمرة لهذه الموجة.

مطال القمة عندما $V_{DC} = 0$ Peak Amplitude When $V_{DC} = 0$

إذا كان $V_{DC} = 0$، عندها يكون مطال القمة الموجبة يساوي مطال القمة السالبة بالقيمة المطلقة. هذا ما يمكن أن ندعوه عندها مطال القمة (V_{pk}):

$$V_{pk} = V_{pk+} = -V_{pk-}$$

مطال القمة.للقمة Peak -to- Peak Amplitude

مطال القمة–للقمة (V_{pk-pk}) لموجة متناوبة جيبية هو الفرق بين مطال القمة الموجبة ومطال القمة السالبة:

$$V_{pk-pk} = V_{pk+} - V_{pk-}$$

إذا كان $V_{DC} = 0$ عندها يكون:

$$V_{pk-pk} = 2 \times V_{pk+} = -2 \times V_{pk-}$$

علاقة المطال اللحظي بزاوية الصفحة

Instantaneous Amplitude vs. Phase angle

ليكن V_{pk+} يمثل مطال القمة الموجبة لموجة ما. وليكن V_{DC} يمثل المركبة المستمرة، ولتكن $\varnothing$ تمثل زاوية الصفحة (مقدرة بالدرجة) في اللحظة التي يكون فيها المطال اللحظي $V_{DC} = V_{inst}$، وهو متزايد بالاتجاه الموجب. عندئذ يكون لدينا:

$$V_{inst} = V_{DC} + (V_{pk+} \times \sin \varnothing)$$

المطال الفعال Effective Amplitude

يسمى المطال الفعال لموجة متناوبة جيبية بالمطال المكافئ للتيار المستمر (DC)، أو بالمطال rms (root-mean-square). ليكن V_{DC} هو المركبة المستمرة، عندئذ يعطى المطال rms (V_{rms}) بالعلاقة:

$$V_{rms} = V_{DC} + [2^{-1/2} \times (V_{pk+} - V_{DC})]$$
$$\approx V_{DC} + [0.707 \times (V_{pk+} - V_{DC})]$$

إذا لم يكن هناك مركبة مستمرة يكون

$$V_{rms} = 2^{-1/2} \times V_{pk} \approx 0.707 \times V_{pk}$$

الأعداد العقدية Complex Numbers

نستخدم في علاقات الممانعة العقدية العدد العقدي j ($j^2 = -1$). ويتم اشتقاق مجموعة الأعداد التخيلية بضرب الأعداد الحقيقية بالعدد j. في علوم الهندسة، تكتب الأعداد والمتحولات التخيلية كعدد حقيقي أو متحول متبوع بالعدد j. (لاحظ أنه في علم الرياضيات نستخدم الرمز i بدلاً عن الرمز j). عند ضرب j

بمتحول، فإننا نهمل إشارة الضرب، أي نكتب jx بدلاً عن j × x، ونكتب -j4.55 بدلاً عن 4.55 × j- أو 4.55- × j. وتمثل الممانعة العقدية بمجموع عدد حقيقي موجب، أو متحول حقيقي، مع عدد أو متحول حقيقي مضروب بالعدد j. مثلا:

$$8 + j5$$
$$3 + j0$$
$$5.355 - j0.677$$
$$a + jb$$
$$R + jX$$

الجمع Addition

يتطلب جمع عددين عقديين جمع الجزء الحقيقي مع الجزء الحقيقي والجزء التخيلي مع الجزء التخيلي:

$$(a + jb) + (c + jd) = (a + c) + j(b + d)$$

الطرح Substraction

يتطلب طرح عددين عقديين طرح الجزء الحقيقي من الجزء الحقيقي والجزء التخيلي من الجزء التخيلي:

$$(a + jb) - (c + jd) = (a - c) + j(b - d)$$

الضرب Multiplication

يتم حساب ناتج ضرب عددين عقديين كما يلي:

$$(a + jb) \times (c + jd) = (a \times c - b \times d) + j(a \times d + b \times c)$$

Absolute Value القيمة المطلقة

القيمة المطلقة أو المطال لعدد عقدي $(a + jb)$ تساوي الجذر التربيعي الموجب لمجموع مربعي جزئيه:

$$|a + jb| = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

Impedance الممانعة

الممانعة، التي نرمزها بالحرف Z، هي المقاومة التي يبديها العنصر أو الدارة للتيار المتناوب. الممانعة هي مقدار ذو بعدين، ومؤلفة من مركبتين مستقلتين هما المقاومة والردية.

Inductive Reactance الردية التحريضية

يرمز للردية التحريضية بالرمز jX_L. المعامل الحقيقي لها هو X_L، وهو دوماً موجب أو معدوم.

jX_L vs. Frequency علاقة jX_L بالتردد

إذا كان تردد منبع متناوب (بالهرتز) هو f، وكانت تحريضية عنصر ما (بالهنري) هي L، عندها تكون العلاقة الشعاعية للردية التحريضية (بالأوم التخيلي) هي:

$$jX_L = j(2 \times \pi \times f \times L) \approx j(6.28 \times f \times L)$$

تطبق العلاقة السابقة من أجل f بالكيلوهرتز (KHz) و L بالميلي هنري (mH)، ومن أجل f بالميغا هرتز (MHz) و L بالميكرو هنري (µH)؛ ومن أجل f بالجيغا هرتز (GHz) و L بالنانو هنري (nH)؛ ومن أجل f بالتيرا هرتز (THz) و L بالبيكو هنري (pH).

زاوية صفحة دارة RL — RL Phase Angle

زاوية الصفحة $\varnothing_{RL}$ في دارة ملف-مقاومة (RL) هي قوس الظل (arctangent) لنسبة المعامل الحقيقي للردية التحريضية إلى المقاومة:

$$\varnothing_{RL} = \tan^{-1} (X_L/R)$$

الردية السعوية (الإتساعية) — Capacitive Reactance

يرمز للردية السعوية بالرمز jX_C. إن المعامل الحقيقي لها (X_c) هو دوماً سالب أو معدوم.

علاقة jX_C بالتردد — jX_C vs. Frequency

إذا كان تردد منبع متناوب (بالهرتز) هو f، وكانت سعة مكثفة ما (بالفاراد) هي C، عندها تكون العلاقة الشعاعية للردية السعوية (بالأوم التخيلي) هي:

$$jX_C = -j[1/(2 \times \pi \times f \times C)] \approx -j[1/(6.28 \times f \times C)]$$

تطبق العلاقة السابقة أيضاً من أجل f بالميغا هرتز (MHz) وC بالميكرو فاراد (μF)، ومن أجل f بالتيرا هرتز (THz) و C بالبيكو فاراد (pF).

زاوية صفحة دارة RC — RC Phase Angle

زاوية الصفحة $\varnothing_{RC}$ في دارة مكثفة-مقاومة (RC) هي قوس الظل (arctangent) لنسبة المعامل الحقيقي للردية السعوية إلى المقاومة:

$$\varnothing_{RC} = \tan^{-1} (X_c/R)$$

Complex Impedance in Series الممانعات العقدية على التسلسل

لتكن لدينا ممانعتان عقديتان $Z_1 = R_1 + jX_1$، و $Z_2 = R_2 + jX_2$ موصولتان على التسلسل. عندها تكون الممانعة العقدية الكلية (Z) هي المجموع الشعاعي للممانعتين Z_1, Z_2 :

$$Z = (R_1 + R_2) + j(X_1 + X_2)$$

Admittance السماحية

السماحية، التي نرمزها Y، هي استعدادية دارة أو عنصر ما لتمرير التيار المتناوب. وهي مقدار ثنائي البعد يتألف من مركبتين مستقلتين هما الناقلية (Conductance) والقبولية (susceptance).

AC Conductance الناقلية المتناوبة

تعد الناقلية الكهربائية متماثلة في كل من دارات التيار المتناوب (AC) ودارات التيار المستمر (DC). ونرمز للناقلية بالحرف الكبير G. كما تعطى العلاقة بين الناقلية والمقاومة بما يلي:

$$G = 1/R$$

واحدة الناقلية هي سيمنس (siemens)، وأحياناً ندعوها مو (mho).

Inductive susceptance القبولية التحريضية

يرمز للقبولية التحريضية بالرمز jB_L. إنها ذات معامل حقيقي (B_L) سالب دوماً أو معدوم. هذا المعامل هو مقلوب المعامل الحقيقي للردية التحريضية:

$$B_L = -1/X_L$$

تتطلب العبارة الشعاعية للقبولية التحريضية العدد العقدي j، كما هي الحال بالنسبة للعلاقة الشعاعية للردية التحريضية. مقلوب j هو j-، لذلك عند حساب المقادير الشعاعية B_L اعتماداً على المقادير الشعاعية (X_L) يتم عكس الإشارة.

علاقة jB_L بالتردد jB

إذا كان تردد منبع متناوب (بالهرتز) هو f، وكانت تحريضية عنصر ما (بالهنري) هي L، عندها تكون العلاقة الشعاعية للقبولية التحريضية (بالسيمنس التخيلي) هي:

$$jB_L = -j[1/(2 \times \pi \times f \times L)] \approx -j[1/(6.28 \times f \times L)]$$

تطبق العلاقة السابقة من أجل f بالكيلوهرتز (KHz) و L بالميلي هنري (mH)، ومن أجل f بالميغا هرتز (MHz) و L بالميكرو هنري (μH)؛ ومن أجل f بالجيغا هرتز (GHz) و L بالنانو هنري (nH)؛ ومن أجل f بالتيرا هرتز (THz) و L بالبيكو هنري (pH).

القبولية السعوية Capacitive Susceptance

يرمز للقبولية السعوية jB_C. إنها ذات معامل حقيقي (B_C) موجب دوماً أو معدوم. وهو يساوي عكس مقلوب المعامل الحقيقي للردية السعوية:

$$B_C = -1/X_C$$

تتطلب علاقة القبولية السعوية العدد العقدي j، كما هي الحال بالنسبة للعلاقة الشعاعية للردية التحريضية. مقلوب j هو j-، لذلك عند حساب المقادير الشعاعية B_C اعتماداً على المقادير الشعاعية (X_L) يتم عكس الإشارة.

jB_C vs. Frequency علاقة jB_C بالتردد

إذا كان تردد منبع متناوب (بالهرتز) هو f، وكانت سعة مكثفة ما (بالفاراد) هي C، عندها تكون العلاقة الشعاعية للردية السعوية (بالسيمنس التخيلي) هي:

$$jB_C = j(2 \times \pi \times f \times C) \approx j(6.28 \times f \times C)$$

تطبق العلاقة السابقة أيضاً من أجل f بالميغا هرتز (MHz) و C بالميكرو فاراد (μF)؛ ومن أجل f بالتيرا هرتز (THz) و L بالبيكو فاراد (pF).

Complex Admittances in Parallel السماحيات العقدية على التفرع

ليكن لدينا سماحيتان عقديتان ($Y_1 = G_1 + jB_1$، $Y_2 = G_2 + jB_2$)، موصولتان على التفرع، عندها تكون السماحية العقدية الكلية الناتجة (Y) هي المجموع الشعاعي لهما، أي:

$$Y = (G_1 + G_2) + j(B_1 + B_2)$$

Complex Impedances in Parallel الممانعات العقدية على التفرع

لإيجاد الممانعة العقدية الكلية الناتجة عن وصل ممانعتين عقديتين على التفرع، نتبع الخطوات التالية وفق ترتيبها:

- تحويل كل مقاومة حقيقية إلى ناقلية: $G_n = 1/R_n$
- تحويل كل سماحية تخيلية إلى قبولية، مع الانتباه لعكس إشارة المعامل الحقيقي: $B_n = -1/X_n$
- جمع الناقلية والقبولية للحصول على السماحية العقدية

- استخدام العلاقة السابقة لإيجاد السماحية العقدية النهائية المكونة من الناقلية الكلية والقبولية الكلية
- تحويل الناقلية الحقيقية الناتجة إلى مقاومة
- تحويل القبولية التخيلية إلى سماحية، مع الانتباه لعكس إشارة المعامل الحقيقي: $X_n = -1/B_n$
- العلاقة الناتجة $(R + jx)$ هي الممانعة العقدية لممانعتين عقديتين على التفرع.

شدة التيار المتناوب AC Amperage

الواحدة القياسية لشدة التيار المتناوب، التي نرمزها I_{rms}، هي أمبير rms.

علاقة التيار بالجهد والردية
Current vs. Voltage and Reactance

ليكن V_{rms} الجهد المتناوب (بالفولت rms) على طرفي عنصر ما، وليكن x هو المعامل الحقيقي للردية (بالأوم) لهذا العنصر. عندئذ يكون التيار المتناوب (بالأمبير rms) هو:

$$I_{rms} = |V_{rms}/X|$$

علاقة التيار بالجهد، والتردد، والتحريضية
Current vs. Voltage, Frequency, and Inductance

ليكن V_{rms} الجهد المتناوب (بالفولت rms) على طرفي عنصر ما، وليكن f هو التردد (بالهرتز) المتناوب، ولتكن L هي تحريضية (بالهنري) هذا العنصر. عندئذ يعطى التيار المتناوب (بالأمبير rms)، I_{rms}، بالعلاقة:

$$I_{rms} = V_{rms}/(2 \times \pi \times f \times L) \approx V_{rms}/(6.28 \times f \times L)$$

تطبق العلاقة السابقة من أجل f بالكيلوهرتز (KHz) و L بالميلي هنري (mH)، ومن أجل f بالميغا هرتز (MHz) و L بالميكرو هنري (μH)؛ ومن أجل f بالجيغا هرتز (GHz) و L بالنانو هنري (nH)؛ ومن أجل f بالتيرا هرتز (THz) و L بالبيكو هنري (pH).

علاقة التيار بالجهد والسعة

Current vs. Voltage and Capacitance

ليكن V_{rms} هو الجهد المتناوب (بالفولت rms) على طرفي عنصر ما، وليكن f هو التردد المتناوب (بالهرتز)، ولتكن C هي سعة هذا العنصر (بالفاراد). عندئذ تعطى علاقة التيار المتناوب I_{rms} (بالأمبير rms) بالشكل:

$$I_{rms} = 2 \times \pi \times V_{rms} \times f \times C \approx 6.28 \times V_{rms} \times f \times C$$

تطبق العلاقة السابقة أيضاً من أجل f بالميغا هرتز (MHz) و C بالميكرو فاراد (πF)؛ ومن أجل f بالتيرا هرتز (THz) و L بالبيكو فاراد (pF).

علاقة التيار بالجهد والممانعة العقدية

Current vs. Voltage and Complex Impedance

ليكن V_{rms} هو الجهد المتناوب (بالفولت rms) على طرفي عنصر ما، ولتكن $Z = R + jX$ هي الممانعة العقدية لهذا العنصر؛ حيث X هو المعامل الحقيقي لردية (بالأوم) العنصر و R هي مقاومة (بالأوم) العنصر. عندئذ تعطى علاقة التيار المتناوب I_{rms} (بالأمبير rms) بالعلاقة:

$$I_{rms} = V_{rms}/(R^2 + X^2)^{1/2}$$

الجهد المتناوب AC Voltage

الواحدة القياسية للجهد المتناوب، يدعى أيضاً قوة محركة كهربائية متناوبة (AC EMF) ورمزه V_{rms}، هي الفولت.

علاقة الجهد بالتيار والردية

Voltage vs. Current and Reactance

ليكن I_{rms} هو التيار المتناوب (بالأمبير rms) الذي يمر عبر عنصر ما، وليكن X هو المعامل الحقيقي للردية (بالأوم) لهذا العنصر. عندئذ تعطى علاقة الجهد المتناوب V_{rms} (بالفولت rms) على طرفي هذا العنصر بالعلاقة:

$$V_{rms} = |I_{rms} \times X|$$

علاقة الجهد بالتيار، والتردد، والتحريضية

Voltage vs. Current, Frequency, and Inductance

ليكن I_{rms} هو التيار المتناوب (بالأمبير rms) الذي يمر عبر عنصر ما؛ وليكن f هو التردد المتناوب (بالهرتز)؛ ولتكن L هي التحريضية (بالهنري) لهذا العنصر. عندئذ يعطى الجهد المتناوب V_{rms} (بالفولت rms) على طرفي العنصر بالعلاقة:

$$V_{rms} = 2 \times \pi \times I_{rms} \times f \times L \approx 6.28 \times I_{rms} \times f \times L$$

تطبق العلاقة السابقة من أجل f بالكيلوهرتز (KHz) و L بالميلي هنري (mH)، ومن أجل f بالميغا هرتز (MHz) و L بالميكرو هنري (μH)؛ ومن أجل f بالجيغا هرتز (GHz) و L بالنانو هنري (nH)؛ ومن أجل f بالتيرا هرتز (THz) و L بالبيكو هنري (pH).

علاقة الجهد بالتيار، التردد، والسعة

Voltage vs. Current, Frequency, and Capacitance

ليكن I_{rms} هو التيار المتناوب (بالأمبير rms) الذي يمر عبر عنصر ما؛ وليكن f هو التردد المتناوب (بالهرتز)؛ ولتكن C هي سعة هذا العنصر (بالفاراد). عندها يعطى الجهد المتناوب V_{rms} (بالفولت rms) بالعلاقة التالية:

$$V_{rms} = I_{rms}/(2 \times \pi \times f \times C) \quad I_{rms}/(6.28 \times f \times C)$$

تطبق العلاقة السابقة أيضاً من أجل f بالميغا هرتز (MHz) و C بالميكرو فاراد (µF)؛ ومن أجل f بالتيرا هرتز (THz) و L بالبيكو فاراد (pF).

علاقة الجهد بالتيار والممانعة العقدية

Voltage vs. Current and Complex Impedance

ليكن I_{rms} هو التيار المتناوب (بالأمبير rms) الذي يمر عبر عنصر ما؛ ولتكن $Z = R + jX$ هي الممانعة العقدية لهذا العنصر؛ حيث X هو المعامل الحقيقي لردية (بالأوم) العنصر و R هي مقاومة (بالأوم) العنصر. عندئذ تعطى علاقة الجهد المتناوب V_{rms} (بالفولت rms) بالعلاقة:

$$V_{rms} = I_{rms} \times (R^2 + X^2)^{1/2}$$

الاستطاعة المتناوبة AC Power

هناك ثلاث طرق للتعبير عن الاستطاعة المتناوبة: الاستطاعة الحقيقية (بالواط rms)، أو الاستطاعة الردية (reactive) (بالواط الردي)، أو الاستطاعة الظاهرية (apparent) (بالفولت-أمبير).

الاستطاعة الحقيقية Real Power

ليكن V_{rms} هو الجهد المتناوب على طرفي عنصر ما (بالفولت rms). وليكن I_{rms} هو التيار المتناوب المار في هذا العنصر (بالأمبير rms). وليكن I_{rms} هو التيار المتناوب المار في هذا العنصر (بالأمبير rms). ولتكن R هي مقاومة هذا العنصر (بالأوم). ولتكن Ø هي زاوية الصفحة بين موجتي الجهد والتيار. عندئذ تعطى علاقات الاستطاعة الحقيقية (P_R) المنتشرة أو المبددة في هذا العنصر (بالواط rms) بالشكل التالي:

$$P_R = V_{rms} \times I_{rms} \times \cos \varnothing$$
$$P_R = (I_{rms})^2 \times R \times \cos \varnothing$$
$$P_R = [(V_{rms})^2/R] \times \cos \varnothing$$

الاستطاعة الردية Reactive Power

ليكن V_{rms} الجهد المتناوب على طرفي عنصر ما (بالفولت rms). وليكن I_{rms} هو التيار المتناوب المار عبر هذا العنصر (بالأمبير rms). ولتكن |X| هي القيمة المطلقة للمعامل الحقيقي لردية هذا العنصر (بالأوم). ولتكن Ø هي زاوية الصفحة بين موجتي الجهد والتيار. عندها تعطى علاقات الاستطاعة الردية لهذا العنصر (بالواط الردي) بالشكل التالي:

$$P_X = (I_{rms})^2 \times |X|$$
$$P_X = (V_{rms})^2 / |X|$$
$$P_X = V_{rms} \times I_{rms} \times \sin\varnothing$$

Apparent Power الاستطاعة الظاهرية

ليكن V_{rms} الجهد المتناوب على طرفي عنصر ما (بالفولت rms). وليكن I_{rms} هو التيار المتناوب المار عبر هذا العنصر (بالأمبير rms). ولتكن P_R هي الاستطاعة الحقيقية المبددة أو المستهلكة من قبل هذا العنصر (بالواط rms). لتكن P_X هي الاستطاعة الردية التي تتجلى في هذا العنصر (بالواط الردي). عندها تعطى الاستطاعة الظاهرية (P_{VA}) المبددة أو المستهلكة في هذا العنصر (بالفولت-أمبير) بالعلاقات التالية:

$$P_{VA} = V_{rms} \times I_{rms}$$

$$P_{VA} = (P_R^2 + P_X^2)^{1/2}$$

AC Energy الطاقة المتناوبة

هناك ثلاث طرق للتعبير عن الطاقة المتناوبة: الطاقة الحقيقية (بالجول)، أو الطاقة الردية (بالجول الردي)، أو الطاقة الظاهرية (بالفولت-أمبير-ثانية).

Real Power الاستطاعة الحقيقية

ليكن V_{rms} هو الجهد المتناوب على طرفي عنصر ما (بالفولت rms). وليكن I_{rms} هو التيار المتناوب المار في هذا العنصر (بالأمبير rms). ولتكن R هي مقاومة هذا العنصر (بالأوم). ولتكن $\varnothing$ هي زاوية الصفحة بين موجتي الجهد والتيار. عندئذ تعطى الطاقة الحقيقية (بالجول) المبددة أو المنتشرة في هذا العنصر خلال فترة زمنية قدرها t (بالثانية) بالشكل التالي:

$$E_R = V_{rms} \times I_{rms} \times t \times \cos \varnothing$$

$$E_R = (I_{rms})^2 \times R \times t \times \cos \varnothing$$

$$E_R = [(V_{rms})^2/R] \times t \times \cos \varnothing$$

الطاقة الردية Reactive Energy

ليكن V_{rms} الجهد المتناوب على طرفي عنصر ما (بالفولت rms). وليكن I_{rms} هو التيار المتناوب المار عبر هذا العنصر (بالأمبير rms). ولتكن $|X|$ هي القيمة المطلقة للمعامل الحقيقي لردية هذا العنصر (بالأوم). ولتكن $\varnothing$ هي زاوية الصفحة بين موجتي الجهد والتيار. عندها تعطى الطاقة الردية لهذا العنصر (بالجول الردي) خلال فترة زمنية t (بالثانية) بالشكل التالي:

$$Ex = (I_{rms})^2 \times t \times |X|$$

$$Ex = [(V_{rms})^2 \times t]/|X|$$

$$Ex = V_{rms} \times I_{rms} \times t \times \sin\varnothing$$

الطاقة الظاهرية Apparent Power

ليكن V_{rms} الجهد المتناوب على طرفي عنصر ما (بالفولت rms). وليكن I_{rms} هو التيار المتناوب المار عبر هذا العنصر (بالأمبير rms). ولتكن E_R هي الطاقة الحقيقية المبددة أو المستهلكة من قبل هذا العنصر (بالجول). ولتكن E_X هي الطاقة الردية التي تتجلى في هذا العنصر (بالجول الردي). عندها تعطى الطاقة الظاهرية (E_{VA}) المبددة أو المستهلكة في هذا العنصر (بالفولت-أمبير-ثانية) خلال فترة زمنية قدرها t (بالثانية) بالعلاقات التالية:

$$E_{VA} = V_{rms} \times I_{rms} \times t$$

$$E_{VA} = (E_R^2 + E_X^2)^{1/2}$$

/ 10 /

المغناطيسية والمحولات

Magnetism and Transformers

يحوي هذا الفصل علاقات خاصة بالحقول المغناطيسية، والدارات المغناطيسية، والمحولات.

الممانعة المغناطيسية Reluctance

تعبر الممانعة المغناطيسية عن مقاومة دارة لنشوء حقل مغناطيسي. ونرمز لها بالحرف R، وواحدتها هي **أمبير-لفة في الويبر**، وذلك في نظام SI.

ممانعة النواة المغناطيسية Reluctance of a magnetic Core

لتكن S هي طول (بالمتر) ممر عبر نواة مغناطيسية. ولتكن μ هي النفوذية المغناطيسية لمادة النواة (بالتسلا-متر في الأمبير). ولتكن A مساحة مقطع من النواة (بالمتر المربع). عندئذ تعطى علاقة الممانعة المغناطيسية R (بالأمبير-لفة في الويبر) بالشكل:

$$R = S/(\mu \times A)$$

تطبق العلاقة السابقة أيضاً من أجل S بالسنتيمتر، μ بالغوص في الأويرستيد (oersted)، وA بالسنتيمتر المربع.

الممانعات المغناطيسية على التسلسل Reluctances in series

تشبه الممانعات المغناطيسية الموصولة على التسلسل المقاومات الموصولة على التسلسل. وإذا كانت R_1، R_2، ... ، R_n هي الممانعات المغناطيسية، وR_s هي الممانعة المكافئة؛ عندها يكون:

$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

الممانعات المغناطيسية على التفرع Reluctances in parallel

تشبه الممانعات المغناطيسية الموصولة على التفرع المقاومات الموصولة على التفرع. فإذا كانت R_1، R_2، R_3، ... ، R_n هي الممانعات المغناطيسية الموصولة على التفرع، وR_p هي الممانعة المكافئة؛ عندها يكون:

$$R_p = 1/[(1/R_1) + (1/R_2) + (1/R_3) + \dots + (1/R_n)]$$

في حالة ممانعتين فقط (R_1, R_2) على التفرع، عندها تعطى الممانعة المكافئة بالعلاقة:

$$R_p = (R_1 \times R_2)/(R_1 + R_2)$$

العلاقات الأساسية Basic Formulas

تبين العلاقات التالية خصائص دارات مغناطيسية بسيطة يحدث فيها أحد الأمرين التاليين:

- يؤدي مرور تيار في ناقل كهربائي إلى نشوء حقل مغناطيسي حول الناقل.
- يؤدي تحريك ناقل بالنسبة لخطوط التدفق المغناطيسي إلى تحريض تيار في الناقل.

كثافة التدفق Flux density

ليكن ∅ تدفق الحقل المغناطيسي (بالويبر). ولتكن A هي مساحة مقطع من منطقة تجتازها خطوط التدفق بشكل عمودي عليها. عندئذ تكون كثافة الحقل المغناطيسي B (بالتسلا) هي:

$$B = \varnothing / A$$

تطبق العلاقة السابقة من أجل B مقدرة بالغوص، و∅ مقدراً بالماكسويل، وA مقدرة بالسنتيمتر المربع.

النفوذية Permeability

لتكن B هي كثافة التدفق المغناطيسي (بالتسلا). ولتكن H هي شدة الحقل المغناطيسي (بالأمبير في المتر). عندئذ تعطى النفوذية μ (بالتسلا-متر في الأمبير) بالعلاقة التالية:

$$\mu = B/H$$

تطبق العلاقة السابقة من أجل μ مقدرة بالغوص في الأورستد، B مقدرة بالغوص، وH مقدرة بالأويرستد.

القوة المحركة المغناطيسية Magnetomotive force

لتكن N هي عدد لفات ملف ذي نواة هوائية. ولتكن I هي شدة التيار المار في الملف (بالأمبير). عندئذ تعطى القوة المحركة المغناطيسية F (بالأمبير-لفة) بالعلاقة التالية:

$$F = N \times I$$

إذا كانت F مقدرة بواحدة الجلبيرت (gilber)، عندها يكون:

$$F = 0.4 \times \pi \times N \times I \approx 1.256 \times N \times I$$

قوة المغنطة Magnetizing force

لتكن N هي عدد لفات ملف ذي نواة هوائية. ولتكن I هي شدة التيار المار في الملف (بالأمبير). لتكن s هي طول المسار المغناطيسي عبر الملف (بالمتر). عندئذ تعطى قوة المغنطة H (بالأمبير-لفة في المتر) بالعلاقة:

$$H = N \times I/s$$

إذا كانت H مقدرة بواحدة الأويرستيد، وs مقدرة بواحدة السنتيمتر، عندها تكون:

$$H = 0.4 \times \pi \times N \times I/s \approx 1.256 \times N \times I/s$$

الجهد المتحرض Induced Voltage

عندما يتحرك ناقل ضمن حقل مغناطيسي يتولد جهد بين طرفيه. تنشأ هذه الحركة في الدارات العملية بإحدى طريقتين:

- اجتياز الناقل لخطوط التدفق المغناطيسي الساكن
- تغير مطال الحقل المغناطيسي حول ملف ساكن

حالة الناقل المتحرك Conductor in motion

لتكن B هي شدة حقل مغناطيسي ثابت وساكن (بالويبر في المتر المربع). ولتكن s هي طول الناقل (بالمتر). ولتكن v هي سرعة الناقل (بالمتر في الثانية) عند الزوايا القائمة بالنسبة لخطوط الحقل المغناطيسي. عندئذ يعطى الجهد المتحرض V (بالفولت) بين طرفي الناقل بالعلاقة:

$$V = B \times s \times v$$

حالة التدفق المتغير Variable flux

لتكن N هي عدد لفات ملف. وليكن dØ/dt هو التغير في التدفق المغناطيسي (بالويبر في الثانية). عندئذ يعطى الجهد V المتولد بين طرفي الناقل بالعلاقة:

$$V = N \times (d\varnothing/dt)$$

المحولات Transformers

تستخدم المحولات عموماً في الأنظمة الكهربائية والإلكترونية لأحد سببين:

- لتخفيض أو رفع الجهد المتناوب
- لربط الممانعات بين دارتي تيار متناوب

فعالية المحولة Transformer Efficiency

ليكن I_{Pri} يمثل التيار (بالأمبير) في الملف الأولي للمحولة. وليكن I_{Sec} يمثل التيار (بالأمبير) في الملف الثانوي للمحولة. وليكن V_{Pri} يمثل جهد r_{ms} للموجة الجيبية المتناوبة على طرفي الملف الأولي. وليكن V_{sec} يمثل جهد r_{ms} للموجة الجيبية المتناوبة على طرفي الملف الثانوي. عندئذ تعطى فعالية (Eff) المحولة (كنسبة) بالعلاقة التالية:

$$Eff = (V_{sec} \times I_{sec})/(V_{pri} \times I_{pri})$$

بصياغة العلاقة السابقة كنسبة مئوية (Eff%) نحصل على العلاقة:

$$Eff\% = (100 \times V_{sec} \times I_{sec})/(V_{pri} \times I_{pri})$$

P:S turns ratio نسبة عدد اللفات P:S

لتكن N_{pri} هي عدد لفات الملف الأولي للمحولة. لتكن N_{sec} هي عدد لفات الملف الثانوي للمحولة. عندها تعطى نسبة عدد لفات الملف الأولي إلى الثانوي (P:S) للمحولة بالعلاقة:

$$P{:}S = N_{pri}/N_{sec}$$

S:P turns ratio نسبة عدد اللفات S:P

تعطى نسبة عدد لفات الملف الثانوي إلى الملف الأول (S:P) للمحولة بالعلاقة التالية:

$$S{:}P = N_{sec}/N_{pri} \quad =1/(P{:}S)$$

Voltage Transformation تحويل الجهد

ليكن V_{pri} يمثل جهد r_{ms} للموجة الجيبية المتناوبة على طرفي الملف الأولي (بالفولت). عندئذ يعطى جهد r_{ms} للموجة الجيبية المتناوبة على طرفي الملف الثانوي للمحولة V_{sec} (بالفولت)، مع إهمال الضياع الحاصل في المحولة، بالعلاقة:

$$V_{sec} = (S{:}P) \times V_{pri}$$

Impedence transformation تحويل الممانعة

لتكن S:P هي نسبة عدد لفات الملف الأولي إلى عدد لفات الملف الثانوي لمحولة. ولتكن $Z_{in} = R_{in} + j0$ تمثل ممانعة أومية صرفة (الردية معدومة) على الدخل (بين طرفي الملف الأولي). عندها تكون الممانعة على الخرج (بين طرفي الملف الثانوي) Z_{out} ممانعة أومية صرفة، وتعطى بالعلاقة:

$$Z_{out} = (S{:}P)^2 \times Z_{in} = (S{:}P)^2 \times R_{in} + j0$$

لتكن P:S هي نسبة عدد لفات الملف الأولي إلى عدد لفات الملف الثانوي لمحولة. ولتكن $Z_{sec} = R_{sec} + j0$ تمثل ممانعة أومية صرفة (الردية معدومة) موصولة على طرفي الملف الثانوي. عندها تكون الممانعة المنعكسة على طرفي الملف الأولي Z_{pri}، ممانعة أومية صرفة، وتعطى بالعلاقة:

$$Z_{pri} = (P:S)^2 \times Z_{sec} = (P:S)^2 \times R_{sec} + j0$$

التيار المطلوب Current demand

ليكن I_{load} يمثل تيار rms المتناوب الجيبي المستجر (بالأمبير) في حمل (load) موصول إلى الملف الثانوي لمحولة. عندها يعطى تيار rms المتناوب الجيبي المطلوب من منبع تغذية موصول مع الملف الأولي I_{src} (بالأمبير)، بإهمال الضياعات في المحولة، بالعلاقة:

$$I_{src} = (S:P) \times I_{load}$$

الضياعات في الملفات والمحولات
Losses in Transformers and Inductors

تنشأ الضياعات في المحولات والنواقل بسبب مقاومة الناقل وخصائص مادة النواة.

الضياع الأومي Ohmic Loss

ليكن I_{rms} يمثل التيار المتناوب (بالأمبير rms) المار في ملف مستقل أو ملف محولة. وليكن V_{rms} يمثل الجهد المتناوب (بالفولت rms) على طرفي الملف. ولتكن R هي المركبة الأومية للممانعة العقدية للملف (بالأوم). عندها يعطى الضياع الأومي $P\Omega$ (بالواط) بالعلاقات التالية:

$$P\Omega = I_{rms}^2 \times R$$

$$P\Omega = V_{rms}^2/R$$

ضياع التيار الدوامي (تيارات فوكو) Eddy-Current Loss

لتكن B هي كثافة التدفق المغناطيسي العظمى في نواة ملف أو محولة (بالغوص). ولتكن s هي سماكة مادة النواة (بالسنتيمتر). وليكن U هو حجم مادة القلب (بالسنتيمتر المكعب). وليكن f هو تردد التيار المتناوب المطبق (بالهرتز). وليكن k هو ثابت النواة المعطى من قبل المصنع. عندها يعطى ضياع تيارات فوكو P_I (بالواط) بالعلاقة:

$$P_I = k \times U \times B \times s^2 \times f^2$$

إذا كان التردد المستخدم هو 60 هرتز (الولايات المتحدة واليابان)، عندها يكون:

$$P_I = 3.6 \times 10^3 \times k \times U \times B \times s^2$$

أما إذا كان التردد المستخدم هو 50 هرتز، فعندها يكون:

$$P_I = 2.5 \times 10^3 \times k \times U \times B \times s^2$$

إذا كانت مادة النواة المستخدمة هي فولاذ سيلكوني، عندها يكون ثابت النواة (k) في جوار القيمة 4×10^{-12}. لكن، تختلف قيمة k عن ذلك إذا كانت مادة القلب هي مسحوق الحديد.

ضياع البطاء Hysteresis Loss

لتكن $A_{B\text{-}H}$ هي مساحة منحني البطاء (منحني B-H) الخاص بمادة النواة عند تردد محدد، حيث B هي كثافة التدفق بالغوص، وH هي قوة المغنطة بالأويرستد. عندها يعطى ضياع البطاء P_H (بالواط) بالعلاقة:

$$P_H = 0.796 \times 10^{-8} \times A_{B\text{-}H}$$

الضياع الكلي في المحولة — Total Loss in Transformer

ليكن V_{pri} هو الجهد المتناوب (بالفولت rms) على طرفي الملف الأولي لمحولة تعمل عند حمل ثابت. وليكن V_{sec} هو الجهد (بالفولت rms) على طرفي الملف الثانوي للمحولة. وليكن I_{pri} هو التيار المتناوب (بالأمبير rms) المار في الملف الأولي. وليكن I_{sec} هو التيار المتناوب (بالأمبير rms) المار في الملف الثانوي للمحولة. عندها، وبفرض الردية معدومة في الحمل والمنبع، يكون الضياع الكلي للاستطاعة في المحولة P_L (بالواط) هو:

$$P_L = V_{pri} \times I_{pri} - V_{sec} \times I_{sec}$$

الضياع الكلي في ملف — Total Loss in Inductor or Winding

ليكن P_Ω هو الضياع الأومي (بالواط) في ملف مفرد أو ملف محولة. وليكن P_I هو ضياع تيار فوكو (بالواط). وليكن P_H هو ضياع البطاء (بالواط). وليكن P_ϕ هو الضياع الناتج عن تسريب التدفق (بالواط). عندها يكون ضياع الاستطاعة الكلي (بالواط) هو:

$$P_L = P_\Omega + P_I + P_H + P_\phi$$

/ 11 /

الإلكترونيات الرقمية
Digital Electronics

يحوي هذا الفصل علاقات وجداول تخص أنظمة العد، والمنطق الثنائي، وجبر بول.

أنظمة العد Numbering Systems

هناك أربعة أنظمة عد مستخدمة بكثرة في الإلكترونيات. يستخدم النظام العشري (ذو الأساس أو القاعدة 10) في الحسابات التقليدية المعتادة. أما الأنظمة: الثنائي، والثماني، والست عشري (ذوات الأساس أو القاعدة 2، 8، 16 على الترتيب) فتستخدم في الدارات الرقمية، بما فيها الحاسب.

الأعداد العشرية (الأساس 10) Decimal numbers (radix 10)

الأرقام المستخدمة في نظام العد العشري هي المجموعة:

$$N = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$$

يتم ضرب كل رقم على يسار الفاصلة العشرية بالعدد 10 مرفوعاً لقوة موجبة تتعلق بموقع الرقم بالنسبة للفاصلة. بينما يتم ضرب كل رقم على يمين الفاصلة العشرية بالعدد 10 مرفوعاً لقوة سالبة تتعلق بموقع الرقم بالنسبة للفاصلة.

ليكن i عدداً عشرياً صحيحاً يمثل موقع الرقم في العد العشري. إذا كانت n_i تمثل أحد أرقام العدد حيث $n_i \in N$، عندها يكون:

$$n_2\, n_1\, n_0 . n_{-1}\, n_{-2} \ldots$$
$$= \ldots + n_2 \times 10^2 + n_1 \times 10 + n_0 + n_{-1} \times 10^{-1} + n_{-2} \times 10^{-2} + \ldots$$

الأعداد الثنائية (الأساس 2) Binary numbers (radix 2)

تنتمي الأرقام المستخدمة في نظام العد الثنائي إلى المجموعة:

$$N = \{0, 1\}$$

يتم ضرب كل رقم على يسار الفاصلة العشرية بالعدد 2 مرفوعاً لقوة موجبة تتعلق بموقع الرقم بالنسبة للفاصلة. بينما يتم ضرب كل رقم على يمين الفاصلة العشرية بالعدد 2 مرفوعاً لقوة سالبة تتعلق بموقع الرقم بالنسبة للفاصلة. ليكن i عدداً عشرياً صحيحاً يمثل موقع الرقم في العد الثنائي. إذا كانت n_i تمثل أحد أرقام العدد حيث $n_i \in N$، عندها يكون:

$$\ldots\ n_2\, n_1\, n_0 . n_{-1}\, n_{-2} \ldots$$
$$= \ldots + n_2 \times 2^2 + n_1 \times 2 + n_0 + n_{-1} \times 2^{-1} + n_{-2} \times 2^{-2} + \ldots$$

الأعداد الثمانية (الأساس 8) Octal numbers (radix 8)

الأرقام المستخدمة في نظام العد الثماني هي المجموعة:

$$N = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$$

يتم ضرب كل رقم على يسار الفاصلة العشرية بالعدد 8 مرفوعاً لقوة موجبة تتعلق بموقع الرقم بالنسبة للفاصلة. بينما يتم ضرب كل رقم على يمين الفاصلة العشرية بالعدد 8 مرفوعاً لقوة سالبة تتعلق بموقع الرقم بالنسبة للفاصلة.

ليكن i عدداً عشرياً صحيحاً يمثل موقع الرقم في العد الثماني. إذا كانت n_i تمثل أحد أرقام العدد حيث $n_i \in N$، عندها يكون:

$$n_2\, n_1\, n_0 . n_{-1}\, n_{-2} \ldots$$
$$= \ldots + n_2 \times 8^2 + n_1 \times 8 + n_0 + n_{-1} \times 8^{-1} + n_{-2} \times 8^{-2} + \ldots$$

الأعداد الست عشرية Hexadecimal numbers (radix 16)

الأرقام المستخدمة في نظام العد العشري هي المجموعة:

$$N = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F\}$$

يتم ضرب كل رقم على يسار الفاصلة العشرية بالعدد 16 مرفوعاً لقوة موجبة تتعلق بموقع الرقم بالنسبة للفاصلة. بينما يتم ضرب كل رقم على يمين الفاصلة العشرية بالعدد 16 مرفوعاً لقوة سالبة تتعلق بموقع الرقم بالنسبة للفاصلة. ليكن i عدداً عشرياً صحيحاً يمثل موقع الرقم في العد العشري. إذا كانت n_i تمثل أحد أرقام العدد حيث $n_i \in N$، عندها يكون:

$$\ldots\; n_2\, n_1\, n_0 . n_{-1}\, n_{-2} \ldots$$
$$= \ldots + n_2 \times 16^2 + n_1 \times 16 + n_0 + n_{-1} \times 16^{-1} + n_{-2} \times 16^{-2} + \ldots$$

تحويل الأعداد Number Conversion

يبين الجدول 11.1 مقارنة بين الأعداد العشرية، والثنائية، والثمانية، والست عشرية، وذلك من أجل الأرقام من 0 حتى 64.

النظام العشري	النظام الثنائي	النظام الثماني	النظام الست عشري
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2

النظام الست عشري	النظام الثماني	النظام الثنائي	النظام العشري
3	3	11	3
4	4	100	4
5	5	101	5
6	6	110	6
7	7	111	7
8	10	1000	8
9	11	1001	9
A	12	1010	10
B	13	1011	11
C	14	1100	12
D	15	1101	13
E	16	1110	14
F	17	1111	15
10	20	10000	16
11	21	10001	17
12	22	10010	18
13	23	10011	19
14	24	10100	20
15	25	10101	21
16	26	10110	22
17	27	10111	23
18	30	11000	24
19	31	11001	25
1A	32	11010	26
1B	33	11011	27
1C	34	11100	28
1D	35	11101	29
1E	36	11110	30
1F	37	11111	31
20	40	100000	32

النظام العشري	النظام الثنائي	النظام الثماني	النظام الست عشري
33	100001	41	21
34	100010	42	22
35	100011	43	23
36	100100	44	24
37	100101	45	25
38	100110	46	26
39	100111	47	27
40	101000	50	28
41	101001	51	29
42	101010	52	2A
43	101011	53	2B
44	101100	54	2C
45	101101	55	2D
46	101110	56	2E
47	101111	57	2F
48	110000	60	30
49	110001	61	31
50	110010	62	32
51	110011	63	33
52	110100	64	34
53	110101	65	35
54	110110	66	36
55	110111	67	37
56	111000	70	38
57	111001	71	39
58	111010	72	3A
59	111011	73	3B
60	111100	74	3C
61	111101	75	3D
62	111110	76	3E

النظام العشري	النظام الثنائي	النظام الثماني	النظام الست عشري
63	111111	77	3F
64	1000000	80	40

العمليات الثنائية الأساسية Basic Binary Operations

العمليات الثنائية الأساسية هي النفي (NOT)، والضرب المنطقي (AND)، الجمع المنطقي (OR). وتكون القيمتان المحتملتان للمتحولات في العمليات السابقة هما 0 منطقي (مستوى منخفض) و1 منطقي (مستوى مرتفع). عموماً نكتب المتحولات على شكل حروف كبيرة *مائلة* مثل *W, X, Y, Z*.

عملية النفي NOT Operation

نكتب العملية NOT X بالشكل $\overline{X}$ (X فوقها خط) أو بالشكل X'.
بفرض $Z = \overline{X}$ ، عندها يكون Z = 1 إذا كانت X = 0، ويكون Z = 0 إذا كانت X = 1. (انظر الجدول 11.2).

عملية الضرب المنطقي AND Operation

نكتب العملية X AND Y بالشكل: X × Y، XY، أو X * Y. بفرض المعادلة المنطقية Z = X × Y عندها يكون الخرج Z = 1 إذا وفقط إذا كانت X = 1 وY = 1؛ ويكون Z = 0 في الحالات الأخرى (انظر الجدول 11.2).

عملية الجمع المنطقي OR Operation

نكتب العملية X OR Y، بالشكل X + Y. بفرض أنه لدينا المعادلة المنطقية Z = X + Y، عندها يكون الخرج Z = 0 إذا وفقط إذا كان X = 0، وY= 0، ويكون Z = 1 في الحالات الأخرى. (انظر الجدول 11-2).

الجدول 11-2: العمليات الثنائية الأساسية

X	Y	$\overline{X}$	X × Y	X + Y
0	0	1	0	0
0	1	1	0	1
1	0	0	0	1
1	1	0	1	1

العمليات الثنائية الثانوية Secondary Binary Operations

العمليات الثنائية الثانوية هي NOT-AND أو NAND، وNOT-OR أو NOR، وXOR.

العملية NAND Operation NAND

إذا كانت لدينا المعادلة المنطقية X NAND Y = Z، عندها يكون الخرج Z = 0 إذا وفقط إذا كان X = 1، وY = 1؛ وتكون Z = 1 في باقي الحالات (انظر الجدول 11.3).

العملية NOR Operation NOR

إذا كانت لدينا المعادلة المنطقية X NOR Y = Z، عندها يكون الخرج Z = 1 إذا وفقط إذا كان X = 0 وY = 0؛ وتكون Z = 0 في باقي الحالات (انظر الجدول 11.3).

عملية XOR Operation XOR

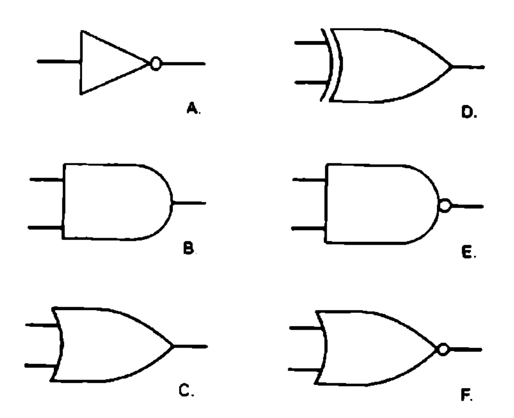
إذا كانت لدينا المعادلة المنطقية X XOR Y = Z، عندها يكون الخرج Z = 0 إذا وفقط إذا كان Y = X وتكون Z = 1 إذا كان Y   X (انظر الجدول 11.3).

الجدول 11.3: العمليات الثنائية الثانوية

X	Y	X NAND Y	X NOR Y	X XOR Y
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	0

البوابات المنطقية Logic Gates

البوابات المنطقية هي قواطع كهربائية تنفذ توابعاً منطقية ثنائية. تعمل معظم البوابات وفق المنطق 0 (منخفض) الممثل بإشارة قيمتها حوالي 0 فولت مستمرة، ووفق المنطق 1 (مرتفع) الممثل بإشارة قيمتها حوالي +5 فولت مستمرة. ويبين الشكل 11.1 رموز هذه البوابات.



الشكل 11.1: (A) بوابة NOT، (B) بوابة AND، (C) بوابة OR، (D) بوابة XOR، (E) بوابة NAND، (F) بوابة NOR

بوابة NOT (العاكس) NOT gate (inverter)

لهذه البوابة مدخل وحيد وخرج وحيد. تعمل هذه البوابة على عكس الحالة المنطقية لإشارة الدخل (انظر الجدول 11.4).

بوابة AND gate AND

لهذه البوابة مدخلان أو أكثر وخرج وحيد. إذا كانت جميع المداخل تساوي 1 منطقياً يكون الخرج 1 منطقياً. فيما يكون الخرج 0 منطقيا في بقية الحالات. (انظر الجدول 11.4).

بوابة OR gate OR

لهذه البوابة مدخلان أو أكثر وخرج وحيد. إذا كانت جميع المداخل تساوي 0 منطقياً يكون الخرج 0 منطقياً. فيما يكون الخرج 1 منطقيا في بقية الحالات. (انظر الجدول 11.4).

بوابة NDNA gate NAND

إذا وضعنا بوابة NOT بعد بوابة AND لحصلنا على بوابة NAND. إذا كانت جميع المداخل تساوي 1 منطقياً يكون الخرج 0 منطقي. فيما يكون الخرج 1 منطقياً في بقية الحالات .(انظر الجدول 11.4).

بوابة NOR gate NOR

إذا وضعنا بوابة NOT بعد بوابة OR لحصلنا على بوابة NOR. إذا كانت جميع المداخل تساوي 0 منطقياً يكون الخرج 1 منطقي. فيما يكون الخرج 0 منطقياً في بقية الحالات. (انظر الجدول 11.4).

XOR gate — بوابة XOR

لهذه البوابة مدخلان وخرج وحيد. إذا كانت إشارتا الدخل متماثلتين، عندها يكون الخرج 0 منطقياً. أما إذا كانت إشارتا الدخل مختلفتين، عندها يكون الخرج 1 منطقياً (انظر الجدول 11.4).

الجدول 11.4: البوابات المنطقية وخصائصها

نوع البوابة	عدد المداخل	ملاحظات
NOT	1	تغير حالة الدخل
AND	2 أو أكثر	الخرج 0 إذا كان أي من المداخل 0 الخرج 1 إذا كانت كل المداخل 1
OR	2 أو أكثر	الخرج 1 إذا كان أي من المداخل 1 الخرج 0 إذا كانت كل المداخل 0
NAND	2 أو أكثر	الخرج 1 إذا كان أي من المداخل 0 الخرج 0 إذا كانت كل المداخل 1
NOR	2 أو أكثر	الخرج 0 إذا كان أي من المداخل 1 الخرج 1 إذا كانت كل المداخل 0
XOR	2	الخرج 1 إذا كان المدخلان مختلفين الخرج 0 إذا كان المدخلان متماثلين

Boolean Theorems — نظريات جبر بول

يبين الجدول 11.5 العديد من المعادلات المنطقية، والتي تمثل نظريات وحقائق. يمكن استخدام نظريات جبر بول لتحليل التوابع المنطقية المعقدة.

الجدول 11.5: نظريات جبر بول

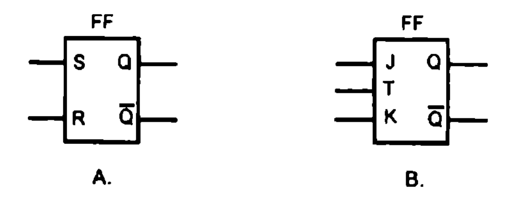
المعادلة	الاسم (إن وجد)
$X + 0 = X$	حيادي عملية OR
$X \times 1 = X$	حيادي عملية AND
$X + 1 = 1$	ماص عملية OR
$X \times 0 = 0$	ماص عملية AND
$X + X = X$	خاصة اللانمو
$X \times X = X$	خاصة اللانمو
$(\overline{\overline{X}}) = X$	النفي المضاعف
$X + (\overline{X}) = X$	نظرية الارتداد (أو اللف)
$X \times (\overline{X}) = 0$	النقض
$X + Y = Y + X$	الخاصة التبديلية لعملية OR
$X \times Y = Y \times X$	الخاصة التبديلية لعملية AND
$X + (X \times Y) = X$	الامتصاص
$X \times (\overline{Y}) + Y = X + Y$	
$X + Y + Z = (X + Y) + Z = X + (Y + Z)$	الخاصة التجميعية لعملية OR
$X \times Y \times Z = (X \times Y) \times Z = X \times (Y \times Z)$	الخاصة التجميعية لعملية AND
$X \times (Y + Z) = (X \times Y) + (X \times Z)$	قابلية التوزيع
$(\overline{X + Y}) = (\overline{X}) \times (\overline{Y})$	قانون دمورغان
$(\overline{X \times Y}) = (\overline{X}) + (\overline{Y})$	قانون دمورغان

Flip-flops القلابات

القلابات هي أحد أشكال بوابات المنطق التتابعي. في البوابات التتابعية، تتعلق حالة الخرج بكل من المداخل والمخارج. للقلاب حالتان هما: تثبيت (Set) وتصفير (Reset). عادة، حالة التثبيت هي 1 منطقي (مستوى مرتفع)، وحالة التصفير هي 0 منطقي (مستوى منخفض).

R-S flip-flop قلاب R-S

تسمى مداخل قلاب R-S بالشكل: R (reset/التصفير) وS (Set/التثبيت). أما المخارج فأسماؤها هي Q و $\bar{Q}$. يبين الشكل 11.2A رمز قلاب R-S، والذي يدعى أيضاً قلاباً غير متزامن (asynchronous). يبين الجدول 11.6 جدول الحقيقة للقلاب R-S.



الشكل 11.2: (A) رمز قلاب R-S، (B) رمز قلاب J-K

الجدول 11.6: حالات القلاب R-S

$\bar{Q}$	Q	S	R
$\bar{Q}$	Q	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
?	?	1	1

قلاب M-S flip-flop

يتكون قلاب M-S (master-slave/سيد–تابع)، بشكل أساسي، من قلابين R-S على التسلسل. القلاب الأول هو السيد، والقلاب الثاني هو التابع. يعمل القلاب السيد عندما يكون خرج الساعة على المستوى المرتفع، بينما يعمل القلاب التابع خلال جزء المستوى المنخفض التالي من خرج الساعة. يمنع هذا التأخير حدوث تشويش بين الدخل والخرج.

قلاب J-K flip-flop

يعمل هذا القلاب بشكل مشابه لقلاب R-S، ما عدا أنه يمكن توقع خرج J-K عندما يكون كلا المدخلين يساويان 1 منطقياً. يبين الجدول 11.7 حالات الدخل والخرج لهذا النوع من القلابات. يتغير الخرج فقط عندما تصل نبضة قدح. أما رمز هذا القلاب فهو مبين في الشكل 11.2B.

الجدول 11.7: حالات القلاب J-K

$\bar{Q}$	Q	S	R
$\bar{Q}$	Q	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
Q	$\bar{Q}$	1	1

قلاب R-S-T flip-flop

يعمل هذا القلاب بشكل مشابه للقلاب R-S، ما عدا أن نبضة مرتفعة على المدخل T تؤدي إلى تغيير حالة القلاب.

T flip-flop

قلاب T

يحوي قلاب T مدخلاً واحداً فقط. في كل مرة تطبق فيها نبضة مرتفعة على المدخل T تنعكس حالة الخرج.

/12 /

التجاوب، المرشحات، والضجيج

Resonance, Filters, and Noise

يحوي هذا الفصل علاقات تخص التجاوب، وتصميم المرشحات، ومواصفات الضجيج.

تردد التجاوب Resonant Frequency

يعد تردد التجاوب خاصة هامة للمرشحات، والهوائيات، ولمختلف العناصر الإلكترونية الأخرى. تخص العلاقات التالية التجاوب الكهربائي في مجال الترددات الراديوية (RF).

دارة LC الأساسية Basic LC Circuit

لتكن L التحريضية (بالهنري) وC السعة (بالفارد) في دارة تجاوب LC. عندها يعطى تردد التجاوب (بالهرتز) بالعلاقة التالية:

$$f = 1/(2 \times \pi \times L^{1/2} \times C^{1/2})$$

تطبق العلاقة السابقة من أجل f مقدر بالميغا هرتز، وL مقدرة بالميكرو هنري، وC مقدرة بالميكرو فاراد.

الفجوة الهوائية (ربع موجة) Air Cavity (1/4 Wave)

ليكن S طول (من طرف إلى آخر) فجوة هوائية (بالإنش). عندها يكون تردد تجاوب ربع-الموجة f (بالميغا هرتز) هو:

$$f = 2.95 \times 10^3/S$$

إذا كانت S مقدرة بالسنتيمتر يكون:

$$f = 7.50 \times 10^3/S$$

تنشأ توافقيات تجاوب ربع-موجة عند المضاعفات الفردية الصحيحة لهذا التردد.

الفجوة الهوائية (نصف موجة) Air Cavity (1/2 Wave)

ليكن S طول (من طرف إلى آخر) فجوة هوائية (بالإنش). عندها يكون تردد تجاوب نصف-الموجة f (بالميغا هرتز) هو:

$$f = 4.90 \times 10^3/S$$

إذا كان S مقدراً بالسنتيمتر يكون:

$$f = 1.50 \times 10^4/S$$

تنشأ توافقيات تجاوب نصف-موجة عند المضاعفات الفردية الصحيحة لهذا التردد.

مقطع خط النقل (ربع موجة)

Transmission-line Section (1/4 Wave)

ليكن s طول (بالإنش) مقطع خط نقل (من طرف لآخر)، وعامل السرعة فيه (رقم بين 0-1) هو v. عندئذ يكون تردد لتجاوب ربع-الموجة الرئيسي f (بالميغا هرتز) هو:

$$f = 2.95 \times 10^3 \times v/s$$

إذا كانت s مقدرة بالسنتيمتر يكون:

$$f = 7.50 \times 10^3 \times v/s$$

إذا كانت S مقدرة بالقدم يكون:

$$f = 264 \times v/s$$

تنشأ توافقيات تجاوب ربع موجة عند المضاعفات الفردية الصحيحة لهذا التردد.

مقطع خط النقل (نصف موجة)

Transmission-line Section (1/2 Wave)

ليكن s طول (بالإنش) مقطع خط نقل (من طرف لآخر)، وعامل السرعة فيه (رقم بين 0-1) هو v. عندئذ يكون تردد لتجاوب نصف-الموجة الرئيسي f (بالميغا هرتز) هو:

$$f = 4.90 \times 10^3 \times v/s$$

إذا كانت s مقدرة بالسنتيمتر يكون:

$$f = 1.50 \times 10^4 \times v/s$$

إذا كانت s مقدرة بالقدم يكون:

$$f = 492 \times v/s$$

تنشأ توافقيات تجاوب نصف موجة عند المضاعفات الفردية الصحيحة لهذا التردد.

مرشحات التردد المنخفض Lowpass Filters

تعمل مرشحات التردد المنخفض على عدم تخميد (أو تخميد بسيط) للإشارات ذات الترددات الأقل من تردد القطع (Cutoff)، وتخمد بشكل كبير الإشارات ذات الترددات الأكبر من تردد القطع.

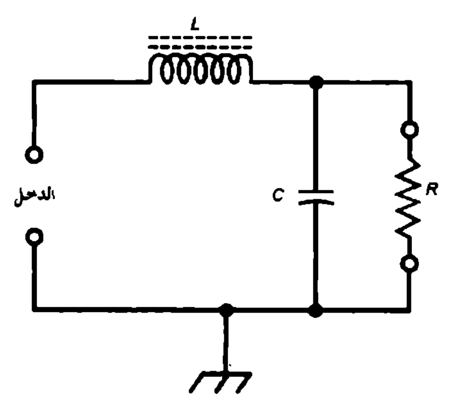
مرشح الثابت K Constant-K

ليكن f هو تردد القطع (بالهرتز) لمرشح تردد منخفض LC نوع ثابت-K، كما هو مبين في الشكل 12.1. ولتكن R هي مقاومة الحمل (بالأوم). عندئذ تعطى التحريضية الأمثلية L (بالهنري) بالعلاقة:

$$L = R/(\pi \times f)$$

تعطى أيضاً السعة الأمثلية C (بالفاراد)، لدارة الشكل 12.1، بالعلاقة:

$$C = 1/(\pi \times f \times R)$$



الشكل 12.1: مرشح تردد منخفض نوع ثابت-K

مرشح مشتق m التسلسلي Series m-derived

ليكن f_1 هو التردد الأعلى (بالهرتز) للتمرير الأعظمي لمرشح تردد منخفض LC نوع مشتق-m، كما هو مبين في الشكل 12.2. وليكن f_2 هو التردد الأدنى للتخميد الأعظمي (بالهرتز). ولتكن R هي مقاومة الحمل (بالأوم). عندئذ يعطى ثابت المرشح m بالعلاقة:

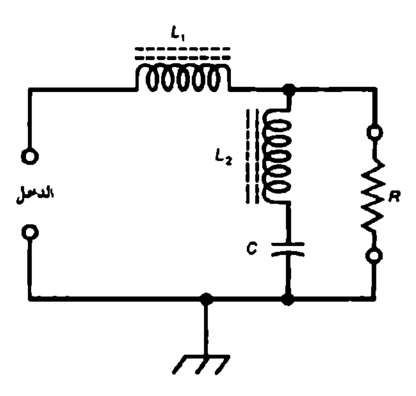
$$m = (1 - f_1^2/f_2^2)^{1/2}$$

تعطى التحريضية الأمثلية L_1 (بالهنري)، لدارة الشكل 12.2، بالعلاقة التالية:

$$L_1 = m \times R/(\pi \times f_1)$$

تعطى التحريضية الأمثلية L_2 (بالهنري)، لدارة الشكل 12.2، بالعلاقة التالية:

$$L_2 = R \times (1 - m^2)/(4 \times \pi \times m \times f_1)$$



الشكل 12.2: مرشح تردد منخفض نوع مشتق-m تسلسلي

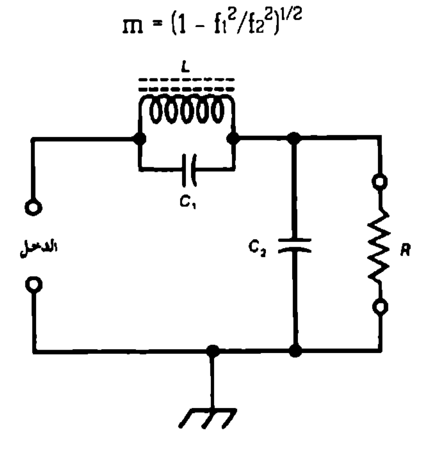
تعطى السعة الأمثلية C (بالفاراد)، لدراة الشكل 12.2، بالعلاقة التالية:

$$C = (1 - m^2)/(\pi \times f_1)$$

Shunt m- derived مرشح مشتق-m التفرعي

ليكن f_1 هو التردد الأعلى (بالهرتز) للتمرير الأعظمي لمرشح تردد منخفض LC نوع مشتق-m، كما هو مبين في الشكل 12.3. وليكن f_2 هو التردد الأدنى للتخميد الأعظمي (بالهرتز). ولتكن R هي مقاومة الحمل (بالأوم). عندئذ يعطى ثابت المرشح m بالعلاقة:

$$m = (1 - f_1^2/f_2^2)^{1/2}$$



الشكل 12.3: مرشح تردد منخفض مشتق-m تفرعي

تعطى التحريضية الأمثلية L (بالهنري)، لدارة الشكل 12.3، بالعلاقة التالية:

$$L = m \times R/(\pi \times f_1)$$

تعطى السعة الأمثلية C_1 (بالفاراد)، لدراة الشكل 12.3، بالعلاقة التالية:

$$C_1 = (1 - m^2)/(4 \times \pi \times R \times m \times f_1)$$

تعطى السعة الأمثلية C_2 (بالفاراد)، لدراة الشكل 12.3، بالعلاقة التالية:

$$C_2 = m/(\pi \times R \times f_2)$$

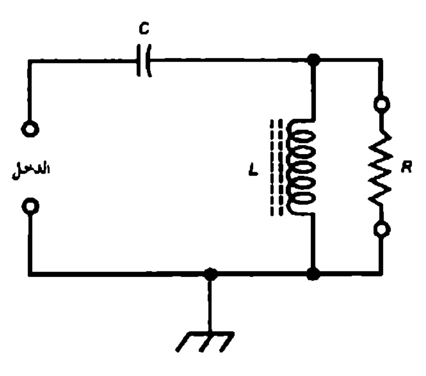
مرشحات التردد المرتفع Highpass Filters

تعمل مرشحات التردد المرتفع على عدم تخميد (أو تخميد بسيط) للإشارات ذات الترددات الأكبر من تردد القطع (Cutoff)، وتخمد بشكل كبير الإشارات ذات الترددات الأصغر من تردد القطع.

مرشح الثابت-K Constant-K

ليكن f هو تردد القطع (بالهرتز) لمرشح تردد مرتفع LC نوع ثابت-K، كما هو مبين في الشكل 12.4. ولتكن R هي مقاومة الحمل (بالأوم). عندئذ تعطى التحريضية الأمثلية L (بالهنري) بالعلاقة:

$$L = R/(4 \times \pi \times f)$$



الشكل 12.4: مرشح تردد منخفض نوع ثابت-K

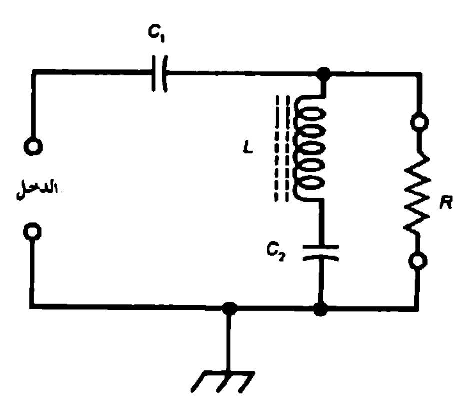
تعطى أيضاً السعة الأمثلية C (بالفاراد)، لدارة الشكل 12.4، بالعلاقة:

$$C = 1/(4 \times \pi \times f \times R)$$

مرشح مشتق m. التسلسلي Series m-derived

ليكن f_1 هو التردد الأعلى (بالهرتز) للتخميد الأعظمي لمرشح تردد مرتفع LC نوع مشتق-m، كما هو مبين في الشكل 12.5. ليكن f_2 هو التردد الأدنى للتمرير الأعظمي (بالهرتز). لتكن R هي مقاومة الحمل (بالأوم). عندئذ يعطى ثابت المرشح m بالعلاقة:

$$m = (1 - f_1^2/f_2^2)^{1/2}$$



الشكل 12.5: مرشح تردد مرتفع نوع مشتق-m تسلسلي

تعطى التحريضية الأمثلية L (بالهنري)، لدارة الشكل 12.5، بالعلاقة التالية:

$$L = R /(4 \times \pi \times m \times f_2)$$

تعطى السعة الأمثلية C_1 (بالفاراد)، لدراة الشكل 12.5، بالعلاقة التالية:

$$C_1 = 1/(4 \times \pi \times R \times m \times f_2)$$

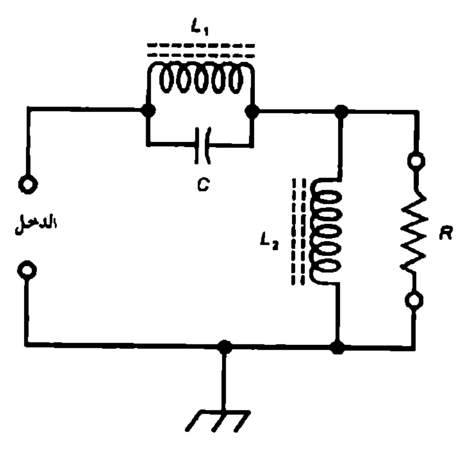
تعطى السعة الأمثلية C_2 (بالفاراد)، لدراة الشكل 12.5، بالعلاقة التالية:

$$C_2 = m/[(1 - m^2) \times \pi \times R \times f_2]$$

مرشح مشتق-m التفرعي Shunt m- derived

ليكن f_1 هو التردد الأعلى (بالهرتز) للتخميد الأعظمي لمرشح تردد منخفض LC نوع مشتق-m، كما هو مبين في الشكل 12.6. ليكن f_2 هو التردد الأدنى للنقل الأعظمي (بالهرتز). لتكن R هي مقاومة الحمل (بالأوم). عندئذ يعطى ثابت المرشح m بالعلاقة:

$$m = (1 - f_1^2/f_2^2)^{1/2}$$



الشكل 12.6: مرشح تردد مرتفع نوع مشتق-m تفرعي

تعطى التحريضية الأمثلية L_1 (بالهنري)، لدارة الشكل 12.6، بالعلاقة التالية:

$$L_1 = m \times R/[(1 - m^2) \times \pi \times f_2]$$

تعطى التحريضية الأمثلية L_2 (بالهنري)، لدارة الشكل 12.6، بالعلاقة التالية:

$$L_2 = R/(4 \times \pi \times m \times f_2)$$

تعطى السعة الأمثلية C (بالفاراد)، لدراة الشكل 12.6، بالعلاقة التالية:

$$C = 1/(4 \times \pi \times m \times f_2 \times R)$$

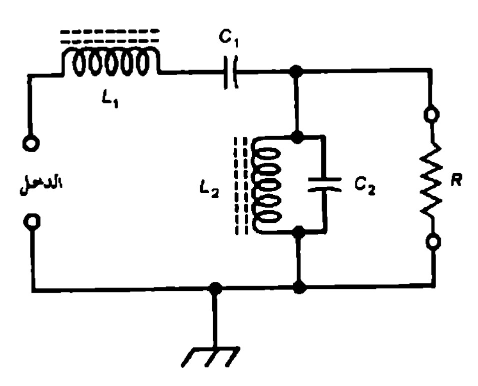
مرشحات تمرير حزمة Bandpass Filters

تعمل مرشحات تمرير حزمة على عدم تخميد (أو تخميد بسيط) للإشارات ذات الترددات المحصورة بين تردد القطع السفلي وتردد القطع العلوي. كما تقوم بتخميد، وبشكل كبير، للإشارات ذات الترددات التي تقع خارج المجال السابق.

مرشح الثابت‑K Constant-K

ليكن f_1 هو تردد القطع السفلي (بالهرتز) لمرشح تمرير حزمة LC نوع ثابت‑K، كما هو مبين في الشكل 12.7. ليكن f_2 هو تردد القطع العلوي (بالهرتز). ولتكن R هي مقاومة الحمل (بالأوم). عندئذ تعطى التحريضيات الأمثلية (بالهنري) بالعلاقات:

$$L_1 = R/[\pi \times (f_2 - f_1)]$$
$$L_2 = (f_2 - f_1) \times R/(4 \times \pi \times f_1 \times f_2)$$



الشكل 12.7 : مرشح تمرير حزمة نوع ثابت-K

تعطى أيضاً السعات الأمثلية (بالفاراد)، لدارة الشكل 12.7، بالعلاقات التالية:

$$C_1 = (f_2 - f_1)/(4 \times \pi \times f_1 \times f_2 \times R)$$

$$C_2 = 1/(\pi \times (f_2 - f_1) \times R)$$

مرشح مشتق m التسلسلي Series m-derived

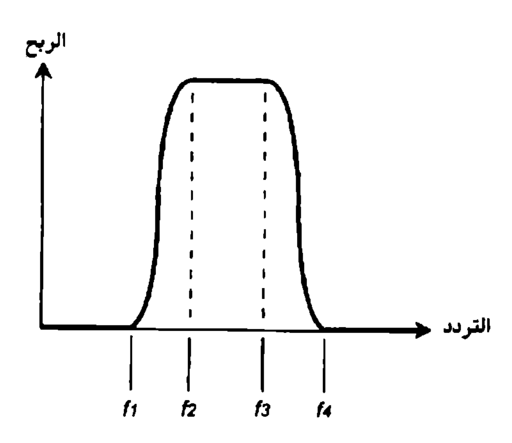
ليكن f_1, f_2, f_3, f_4 هي ترددات مقدرة بالهرتز ومعرفة بالشكل 12.8. ولتكن R هي مقاومة الحمل (بالأوم). لنعرف المقادير m, x (ثابت المرشح)، z, y كما يلي:

$$x = [(1 - f_2^2/f_3^2) \times (1 - f_3^2/f_4^2)]^{1/2}$$

$$m = x/(1 - f_2 \times f_3/f_4^2)$$

$$y = (1 - m^2) \times (1 - f_1^2/f_4^2) \times f_2 \times f_3/(4 \times x \times f_1^2)$$

$$z = (1 - m^2) \times (1 - f_1^2/f_4^2) \times (4 \times x)$$



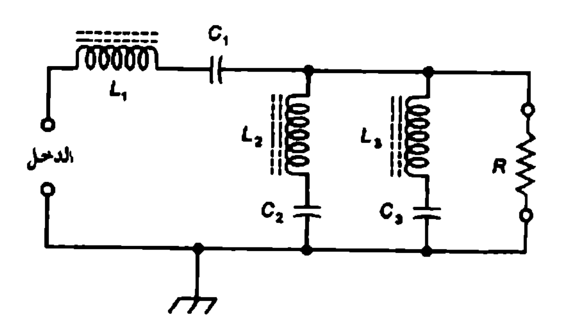
الشكل 12.8: منحني استجابة مرشح تمرير حزمة

تعطى التحريضيات الأمثلية (بالهنري)، لدارة الشكل 12.9، بالعلاقات التالية:

$$L_1 = m \times R/[\pi \times (f_3 - f_2)$$
$$L_2 = z \times R/[\pi \times (f_3 - f_2)$$
$$L_3 = y \times R/[\pi \times (f_3 - f_2)$$

تعطى السعات الأمثلية (بالفاراد)، لدراة الشكل 12.9، بالعلاقات التالية:

$$C_1 = (f_3 - f_2)/(4 \times \pi \times m \times R \times f_2 \times f_3)$$
$$C_2 = (f_3 - f_2)/(4 \times \pi \times y \times R \times f_2 \times f_3)$$
$$C_3 = (f_3 - f_2)/(4 \times \pi \times z \times R \times f_2 \times f_3)$$



الشكل 12.9: مرشح تمرير حزمة نوع مشتق-m تسلسلي

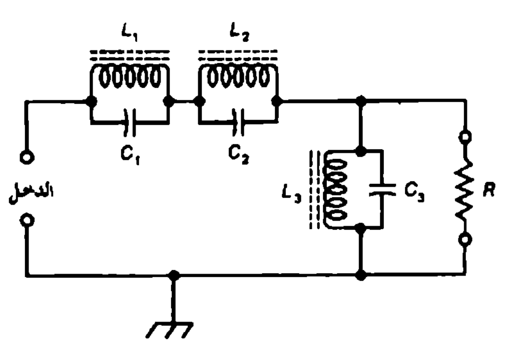
مرشح مشتق-m التفرعي Shunt m- derived

ليكن f_1, f_2, f_3, f_4 هي ترددات مقدرة بالهرتز ومعرفة بالشكل 12.8. لتكن R هي مقاومة الحمل (بالأوم). لنعرف المقادير m, x (ثابت المرشح)، z, y كما في الفقرة السابقة. تعطى التحريضيات الأمثلية (بالهنري)، لدارة الشكل 12.10، بالعلاقات التالية:

$$L_1 = (f_3 - f_2) \times R/(4 \times \pi \times z \times f_2 \times f_3)$$
$$L_2 = (f_3 - f_2) \times R/(4 \times \pi \times y \times f_2 \times f_3)$$
$$L_3 = (f_3 - f_2) \times R/(4 \times \pi \times m \times f_2 \times f_3)$$

تعطى السعات الأمثلية (بالفاراد)، لدراة الشكل 12.10، بالعلاقات التالية:

$$C_1 = z/[\pi \times R \times (f_3 - f_2)$$
$$C_2 = y/[\pi \times R \times (f_3 - f_2)$$
$$C_3 = m/[\pi \times R \times (f_3 - f_2)$$



الشكل 12-10: مرشح تمرير حزمة نوع مشتق-m تفرعي

مرشحات حذف حزمة Bandstop Filters

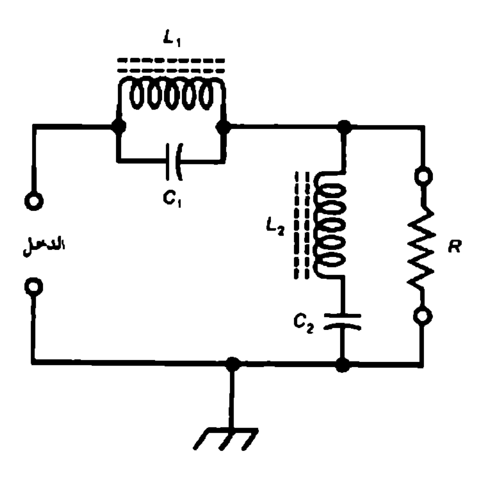
تعمل مرشحات حذف حزمة على تخميد الإشارات ذات الترددات المحصورة بين تردد القطع السفلي وتردد القطع العلوي بشكل كبير. كما تقوم هذه المرشحات بتمرير الإشارات، أو تخميدها بشكل بسيط، ذات الترددات التي تقع خارج المجال السابق.

مرشح الثابت K Constant-K

ليكن f_1 هو تردد القطع السفلي (بالهرتز) لمرشح حذف حزمة LC نوع ثابت-K، كما هو مبين في الشكل 12.11. وليكن f_2 هو تردد القطع العلوي (بالهرتز). ولتكن R هي مقاومة الحمل (بالأوم). عندئذ تعطى التحريضيات الأمثلية (بالهنري) بالعلاقات:

$$L_1 = R \times (f_2 - f_1)/(\pi \times f_1 \times f_2)$$

$$L_2 = R/[4 \times \pi \times (f_2 - f_1)]$$



الشكل 12.11: مرشح حذف حزمة نوع ثابت-K.

تعطى أيضاً السعات الأمثلية (بالفاراد)، لدارة الشكل 12.11، بالعلاقات التالية:

$$C_1 = 1/[4 \times \pi R \times (f_2 - f_1)]$$

$$C_2 = (f_2 - f_1)/(\pi \times R \times f_1 \times f_2)$$

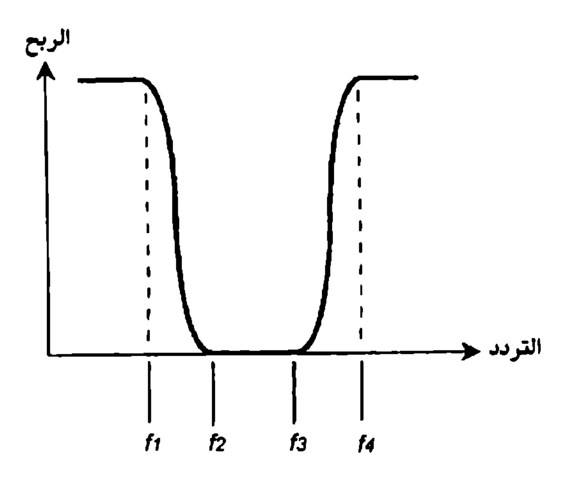
مرشح مشتق m التسلسلي Series m-derived

لتكن f_1, f_2, f_3, f_4 هي ترددات مقدرة بالهرتز ومعرفة بالشكل 12.12. لتكن R هي مقاومة الحمل (بالأوم). لنعرف المقادير m, x (ثابت المرشح)، z, y بالعلاقات التالية:

$$m = [(1 - f_1^2/f_3^2) \times (1 - f_3^2/f_4^2)/(1 - f_1/f_4)]^{1/2}$$

$$x = (1/m) \times (1 + f_1 \times f_4/f_3^2)$$

$$y = (1/m) \times [1 + f_3^2/(f_1 \times f_4)]$$



الشكل 12.12: منحني استجابة مرشح حذف حزمة

تعطى التحريضيات الأمثلية (بالهنري)، لدارة الشكل 12.13، بالعلاقات التالية:

$$L_1 = m \times R \times (f_4 - f_1)/(\pi \times f_1 \times f_4)$$

$$L_2 = R/[4 \times \pi \times m \times (f_4 - f_1)]$$

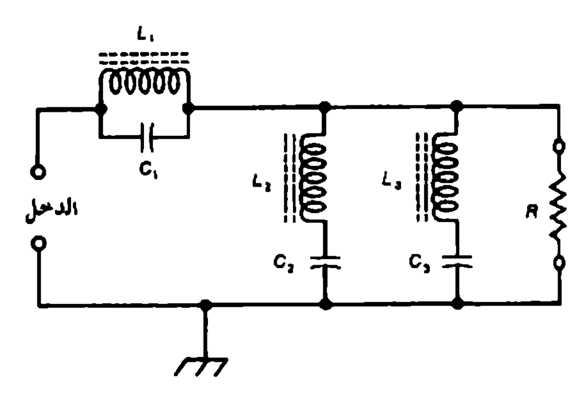
$$L_3 = y \times R/[4 \times \pi \times (f_4 - f_1)]$$

تعطى السعات الأمثلية (بالفاراد)، لدارة الشكل 12.13، بالعلاقات التالية:

$$C_1 = 1/[4 \times \pi \times m \times R \times (f_4 - f_1)]$$

$$C_2 = (f_4 - f_1)/(\pi \times y \times R \times f_1 \times f_4)$$

$$C_3 = (f_4 - f_1)/(\pi \times x \times R \times f_1 \times f_4)$$



الشكل 12.13: مرشح حذف حزمة نوع مشتق-m تسلسلي

مرشح مشتق m التفرعي Shunt m- derived

لتكن f_1, f_2, f_3, f_4 هي ترددات مقدرة بالهرتز ومعرفة بالشكل 12.12. ولتكن R هي مقاومة الحمل (بالأوم). لنعرف المقادير m, x (ثابت المرشح)، z, y كما في الفقرة السابقة.

تعطى التحريضيات الأمثلية (بالهنري)، لدارة الشكل 12.14، بالعلاقات التالية:

$$L_1 = (f_4 - f_1) \times R/(\pi \times y \times f_1 \times f_4)$$

$$L_2 = (f_4 - f_1) \times R/(\pi \times x \times f_1 \times f_4)$$

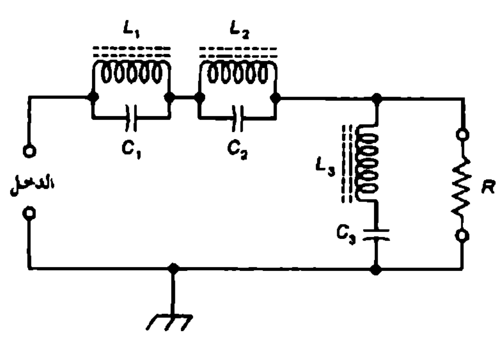
$$L_3 = R/[4 \times \pi \times m \times (f_4 - f_1)]$$

تعطى السعات الأمثلية (بالفاراد)، لدارة الشكل 12.14، بالعلاقات التالية:

$$C_1 = x/[4 \times \pi \times R \times (f_4 - f_1)$$

$$C_2 = y/[4 \times \pi \times R \times (f_4 - f_1)$$

$$C_3 = m \times (f_4 - f_1) /(\pi \times R \times f_1 \times f_4)$$



الشكل 12-14: مرشح حذف حزمة مشتق-m تفرعي

الضجيج Noise

تهتم العلاقات التالية بموضوع الضجيج، وبالطرق المألوفة لقياسه والتعبير عن تأثيراته العملية.

استطاعة الضجيج الحراري Thermal Noise Power

ليكن k هو ثابت بولتزمان (يساوي تقريباً 1.3807×10^{-23} جول في الكلفن). ولتكن T هي درجة الحرارة المطلقة (بالكلفن). وليكن B هو عرض الحزمة (بالهرتز). عندئذ تعطى استطاعة الضجيج الحراري P_{nt} (بالواط) بالعلاقة التالية:

$$P_{nt} = k \times T \times B$$

جهد الضجيج الحراري Thermal Noise Voltage

لتكن R هي مقاومة منبع ضجيج (بالأوم). ولتكن P_{nt} هي استطاعة الضجيج الحراري (بالواط). عندئذ يعطى جهد الضجيج الحراري V_{nt} (بالفولت) بالعلاقة التالية:

$$V_{nt} = (P_{nt} \times R)^{1/2}$$

نسبة الإشارة إلى الضجيج Signal-to-Noise Ratio

لتكن P_n هي استطاعة الضجيج (بالواط) على خرج دارة ما. ولتكن P_s هي استطاعة الإشارة (بالواط) على خرج نفس الدارة. عندئذ تعطى نسبة الإشارة إلى الضجيج S:N (بالديسبل، dB) بالعلاقة التالية:

$$S{:}N = 10 \times \log_{10} (P_s/P_n)$$

يمكن أيضاً حساب قيمة S:N اعتماداً على الجهود والتيارات. ليكن V_n هو جهد الضجيج (بالفولت) على خرج الدارة. وليكن I_n هو تيار الضجيج (بالأمبير) في نفس النقطة. وليكن V_s هو جهد الإشارة (بالفولت) عند نفس النقطة. وليكن I_s هو تيار الإشارة (بالأمبير) في نفس النقطة. عندئذ تعطى نسبة الإشارة إلى الضجيج S:N (بالديسبل)، بفرض الممانعة ثابتة، بإحدى العلاقتين التاليتين:

$$S{:}N = 20 \times \log_{10}(V_s/V_n)$$

$$S{:}N = 20 \times \log_{10}(I_s/I_n)$$

نسبة الإشارة مع الضجيج إلى الضجيج Signal-plus-Noise-to-Noise Ratio

لتكن P_n هي استطاعة الضجيج (بالواط) على خرج دارة ما. ولتكن P_s هي استطاعة الإشارة (بالواط) على خرج نفس الدارة. عندئذ تعطى نسبة الإشارة مع الضجيج إلى الضجيج (S+N):N (بالديسبل) بالعلاقة:

$$(S+N){:}N = 10 \times \log_{10}[(P_s + P_n)/P_n]$$

يمكن أيضاً حساب قيمة (S+N):N اعتماداً على الجهود والتيارات. ليكن V_n هو جهد الضجيج (بالفولت) على خرج الدارة. وليكن I_n هو تيار الضجيج (بالأمبير) في نفس النقطة. وليكن V_s هو جهد الإشارة (بالفولت) عند نفس

النقطة. وليكن I_s هو تيار الإشارة (بالأمبير) في نفس النقطة. عندئذ تعطى نسبة الإشارة مع الضجيج إلى الضجيج (S+N):N (بالديسبل)، بفرض الممانعة ثابتة، بالعلاقات التالية:

$$(S+N):N = 20 \times \log_{10}[(V_s + V_n)/V_n]$$

$$(S+N):N = 20 \times \log_{10}[(I_s + I_n)/I_n]$$

رقم الضجيج Noise Figure

لتكن P_i هي استطاعة الضجيج (بالواط) على خرج دارة مثالية. ولتكن P_a هي استطاعة الضجيج (بالواط) على خرج دارة حقيقية. عندئذ يعطى رقم الضجيج N (بالديسبل) للدارة الحقيقية بالعلاقة:

$$N = 10 \times \log_{10}(P_a/P_i)$$

يمكن أيضاً حساب رقم الضجيج اعتماداً على النسبة S:N. لتكن $S:N_i$ هي النسبة S:N (بالديسبل) على خرج دارة مثالية. ولتكن $S:N_a$ هي نسبة S:N (بالديسبل) على خرج الدارة الفعلية. عندئذ يعطى رقم الضجيج N (بالديسبل) للدارة الفعلية بالعلاقة التالية:

$$N = 10 \times \log_{10}(S:N_i/S:N_a)$$

/ 13/

أنصاف النواقل
Semiconductors

يحوي هذا الفصل علاقات تخص عناصر أنصاف النواقل، كالديودات، والترانزستورات ثنائية القطبية، وترانزستورات الأثر الحقلي.

الديودات Diodes

يبدي الديود علاقة لا خطية بين الجهد والتيار. تختلف هذه العلاقة في حالة الاتجاه الأمامي عن حالة الاتجاه العكسي. إنها تختلف أيضاً بالمعنى الديناميكي (المتغير) مقارنة بالمعنى الستاتيكي (الساكن).

التيار الأمامي Forward Current

ليكن I_{rs} هو تيار الإشباع العكسي (بالأمبير) لديود معين. ولتكن q هي شحنة إلكترون (تقريباً تساوي 1.602×10^{-19} كولون). وليكن V_f هو الجهد الأمامي (بالفولت). وليكن k هو ثابت بولتزمان (تقريباً يساوي 1.3807×10^{-23} جول بالكلفن). ولتكن T هي درجة الحرارة المطلقة (بالكلفن). وليكن e هي الثابت الأسي (يساوي تقريباً 2.718). لنعرف x بالعلاقة:

$$x = \frac{q \times V_f}{k \times T}$$

عندئذ يعطى التيار الأمامي I_f (بالأمبير) بالعلاقة:

$$I_f = I_{rs} \times (e^x - 1)$$

المقاومة الستاتيكية Static Resistance

ليكن V_{DC} هو الجهد المستمر الهابط (بالفولت) على ديود. وليكن I_{DC} هو التيار المستمر (بالأمبير) المار عبر الديود. عندئذ تعطى المقاومة الستاتيكية R_s (بالأوم) للديود بالعلاقة التالية:

$$R_s = V_{DC}/I_{DC}$$

المقاومة الديناميكية Dynamic Resistance

ليكن V هو الجهد اللحظي (بالفولت) الهابط على ديود ما. وليكن I هو التيار اللحظي (بالأمبير) المار عبر الديود. عندئذ تعطى المقاومة الديناميكية R_d (بالأوم) للديود بالعلاقة التالية:

$$R_d = dV/dI$$

أي أن R_d هي مشتق الجهد بالنسبة للتيار، أو هي ميل منحني V بدلالة I (الشكل 13.1) عند نقطة محددة.

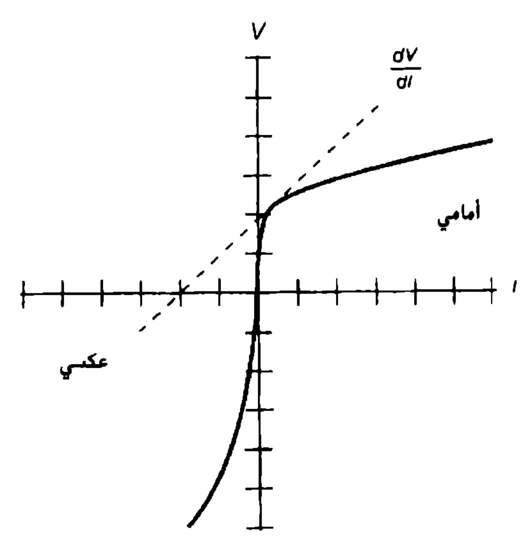
فعالية التقويم Rectification Efficiency

ليكن V_{DC} هو جهد الخرج المستمر (بالفولت) لديود ما. وليكن V_{pk} هو جهد (بالفولت) القمة في الدخل المتناوب. عندئذ تعطى فعالية التقويم η (بالمئة) بالعلاقة:

$$\eta = 100 \times V_{DC}/V_{pk}$$

الترانزستورات ثنائية القطبية Bipolar Transistors

يحوي هذا الجزء العلاقات الخاصة بالترانزستور ثنائي القطبية، بنوعيه NPN وPNP.



الشكل 13.1: المنحني المميز لديود نصف ناقل

نسبة تحويل التيار الأمامي الستاتيكي
Static Forward Current Transfer Ratio

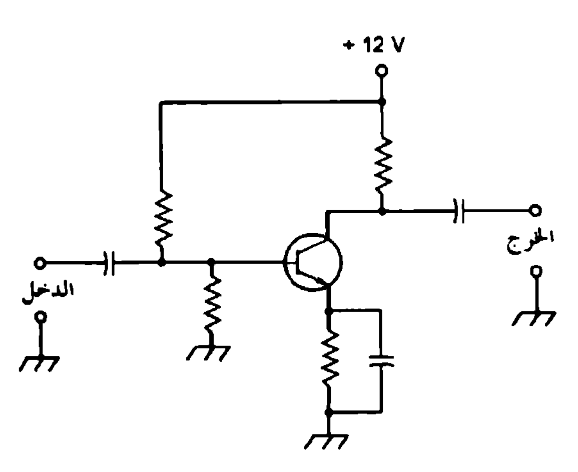
بفرض أن جهد المجمع V_c في تشكيلة باعث-مشترك (الشكل 13-2) ثابت. وليكن I_c هو تيار المجمع (بالأمبير). وليكن I_b هو تيار القاعدة (بالأمبير). عندئذ تعطى نسبة تحويل التيار الأمامي الستاتيكي H_{FE} بالعلاقة:

$$H_{FE} = I_c/I_b$$

Dynamic Base Resistance مقاومة القاعدة الديناميكية

بفرض أن جهد المجمع V_c ثابت. ليكن V_b هو جهد القاعدة (بالفولت). ليكن I_b هو تيار القاعدة (بالأمبير). عندئذ تعطى مقاومة القاعدة الديناميكية R_b (بالأوم) بالعلاقة:

$$R_b = dV_b/dI_b$$



الشكل 13.2: ترانزستور ثنائي القطبية بتشكيلة باعث-مشترك

Dynamic Emitter Resistance مقاومة الباعث الديناميكية

بفرض أن جهد المجمع V_c المطبق على ترانزستور ثابت. ليكن V_e هو جهد الباعث (بالفولت). وليكن I_e هو تيار الباعث (بالأمبير). عندئذ تعطى مقاومة الباعث الديناميكية R_e (بالأوم) بالعلاقة:

$$R_e = dV_e/dI_e$$

مقاومة المجمع الديناميكية Dynamic Collector Resistance

بفرض أن تيار الباعث I_e ثابت. ليكن V_c هو جهد المجمع (بالفولت). وليكن I_c هو تيار المجمع (بالأمبير). عندئذ تعطى مقاومة المجمع الديناميكية R_c (بالأوم) بالعلاقة:

$$R_c = dV_c/dI_c$$

ناقلية الباعث الديناميكية العكسية
Dynamic Emitter Feedback Conductance

بفرض أن جهد الباعث V_e المطبق على ترانزستور ثابت. ليكن I_e هو تيار الباعث (بالأمبير). وليكن V_c هو جهد المجمع (بالفولت). عندئذ تعطى ناقلية الباعث الديناميكة العكسية G_{ec} (بالسيمنس) بالعلاقة:

$$G_{ec} = dI_e/dV_c$$

ألفا Alpha

بفرض أن جهد المجمع V_c في ترانزستور ذي تشكيلة قاعدة-مشتركة (الشكل 13.3) ثابت. ليكن I_c هو تيار المجمع (بالأمبير). وليكن I_e هو تيار الباعث (بالأمبير). عندئذ يعطى تضخيم التيار الديناميكي في تشكيلة قاعدة-مشتركة (نرمز له α) بالعلاقة:

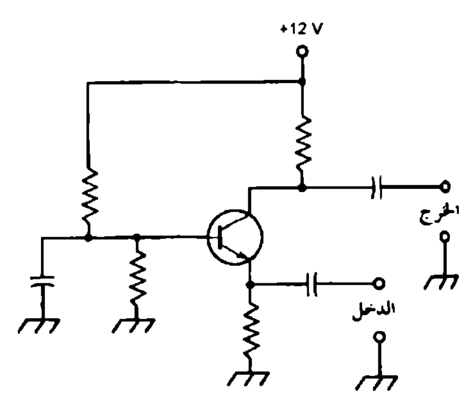
$$\alpha = dI_c/dI_e$$

بيتا Beta

بفرض أن جهد المجمع V_c المطبق على الترانزستور في تشكيلة باعث-مشترك (الشكل 13.2) ثابت. ليكن I_c هو تيار المجمع (بالأمبير). وليكن I_b هو تيار

القاعدة (بالأمبير). عندئذ يعطى تضخيم التيار الديناميكي في تشكيلة باعث-مشترك (نرمز له β) بالعلاقة:

$$\beta = dI_c/dI_b$$



الشكل 13.3: ترانزستور ثنائي القطبية بتشكيلة قاعدة مشتركة

Alpha in Terms of Beta — ألفا كتابع لبيتا

لنفرض أن β لترانزستور ما معروفة. بفرض أن جهد المجمع V_c يبقى ثابتاً. عندئذ تعطى α بالعلاقة التالية:

$$\alpha = \beta (1 + \beta)$$

Beta in Terms of Alpha — بيتا كتابع لألفا

بفرض أن جهد المجمع V_c يبقى ثابتاً. عندئذ تعطى β بالعلاقة التالية:

$$\beta = \alpha/(1 - \alpha)$$

عامل الاستقرار الديناميكي Dynamic Stability Factor

ليكن I_c هو تيار المجمع في ترانزستور ثنائي القطبية (بالأمبير). وليكن I_w هو تيار تسريب المجمع (بالأمبير). عندئذ يعطى عامل الاستقرار الديناميكي S بالعلاقة:

$$S = dI_c/dI_w$$

بارامترات المقاومات (قاعدة-مشتركة)

Resistance Parameters (Common base)

ليكن α هو تضخيم التيار الديناميكي لترانزستور بتشكيلة قاعدة-مشتركة. لنأخذ رموز المقاومات (بالأوم) التالية:

R_b = مقاومة القاعدة الديناميكية

R_c = مقاومة المجمع الديناميكية

R_e = مقاومة الباعث الديناميكية

R_{in} = مقاومة الدخل

R_{rt} = مقاومة التحويل العكسي

R_{ft} = مقاومة التحويل الأمامي

R_{out} = مقاومة الخرج

عندئذ تكون لدينا المعادلات التالية:

$$R_{in} = R_e + R_b$$

$$R_{rt} = R_b$$

$$R_{ft} = R_b + \alpha \times R_c$$

$$R_{out} = R_c + R_b$$

بارميترات المقاومات (باعث-مشترك)

Resistance Parameters (Common Emitter)

ليكن α هو تضخيم التيار الديناميكي لترانزستور بتشكيلة قاعدة مشتركة.
لتكن الرموز التالية تمثل مقاومات (بالأوم) في تشكيلة باعث-مشترك:

R_b = مقاومة القاعدة الديناميكية
R_c = مقاومة المجمع الديناميكية
R_e = مقاومة الباعث الديناميكية
R_{in} = مقاومة الدخل
R_{rt} = مقاومة التحويل العكسي
R_{ft} = مقاومة التحويل الأمامي
R_{out} = مقاومة الخرج

عندئذ تكون لدينا المعدلات التالية:

$$R_{in} = R_e + R_b$$
$$R_{rt} = R_e$$
$$R_{ft} = R_e - \alpha \times R_c$$
$$R_{out} = R_c + R_e - \alpha \times R_c$$

بارميترات المقاومات (مجمع-مشترك)

Resistance Parameters (Common Collector)

ليكن α هو تضخيم التيار الديناميكي لترانزستور بتشكيلة قاعدة مشتركة.
لتكن الرموز التالية تمثل مقاومات (بالأوم) في تشكيلة مجمع-مشترك (الشكل 13.4):

R_b = مقاومة القاعدة الديناميكية

R_c = مقاومة المجمع الديناميكية

R_e = مقاومة الباعث الديناميكية

R_{in} = مقاومة الدخل

R_{rt} = مقاومة التحويل العكسي

R_{ft} = مقاومة التحويل الأمامي

R_{out} = مقاومة الخرج

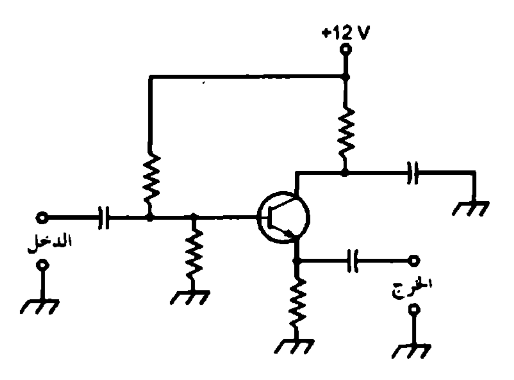
عندئذ تكون لدينا المعدلات التالية:

$$R_{in} = R_c + R_b$$

$$R_{rt} = R_c - \alpha \times R_c$$

$$R_{ft} = R_e \times (1 - \alpha)$$

$$R_{out} = R_c + R_e - \alpha \times R_c$$



الشكل 13.4: ترانزستور ثنائي القطبية بتشكيلة مجمع-مشترك

البراميترات الهجينة (باعث-مشتركة)
Hybrid Parameters (Common Emitter)

لنفرض الرموز التالية من أجل ترانزستور ثنائي القطبية بتشكيلة قاعدة-مشتركة؛ التيارات مقدرة بالأمبير، والمقاومات مقدرة بالأوم، والناقلية مقدرة بالسيمنس، والجهود مقدرة بالفولت.

I_e = تيار القاعدة

I_c = تيار المجمع

V_{cb} = جهد باعث-قاعدة

V_{eb} = جهد مجمع-باعث

R_{in} = مقاومة الدخل من أجل V_{ce} ثابت

G_{out} = ناقلية الخرج من أجل I_b ثابت

h_f = مميزات التحويل الأمامي من أجل V_{ce} ثابت

h_r = مميزات التحويل العكسي من أجل I_b ثابت

عندئذ تكون لدينا المعادلات التالية:

$$R_{in} = dV_{eb}/dI_b$$

$$G_{out} = dI_c/dV_{ce}$$

$$h_f = dI_c/dI_b$$

$$h_r = dV_{eb}/dV_{ce}$$

البراميترات الهجينة (قاعدة ـ مشترك)

Hybrid Parameters (Common Base)

لنفرض الرموز التالية من أجل ترانزستور ثنائي القطبية بتشكيلة باعث-مشترك؛ حيث التيارات مقدرة بالأمبير، والمقاومات مقدرة بالأوم، والناقلية مقدرة بالسيمنس، والجهود مقدرة بالفولت.

I_b = تيار الباعث

I_c = تيار المجمع

V_{eb} = جهد مجمع-قاعدة

V_{ce} = جهد باعث-قاعدة

R_{in} = مقاومة الدخل من أجل V_{cb} ثابت

G_{out} = ناقلية الخرج من أجل I_e ثابت

h_f = مميزات التحويل الأمامي من أجل V_{cb} ثابت

h_r = مميزات التحويل العكسي من أجل I_e ثابت

عندئذ تكون لدينا المعادلات التالية:

$$R_{in} = dV_{eb}/dI_e$$
$$G_{out} = dI_c/dV_{cb}$$
$$h_f = dI_c/dI_e$$
$$h_r = dV_{eb}/dV_{cb}$$

البراميترات الهجينة (مجمع. مشترك)
Hybrid Parameters (Common Collector)

لنفرض الرموز التالية من أجل ترانزستور ثنائي القطبية بتشكيلة باعث-مشترك. التيارات مقدرة بالأمبير، المقاومات مقدرة بالأوم، الناقلية مقدرة بالسيمنس، والجهود مقدرة بالفولت.

I_b = تيار القاعدة

I_e = تيار المجمع

V_{ec} = جهد باعث-مجمع

V_{bc} = جهد قاعدة-مجمع

R_{in} = مقاومة الدخل من أجل V_{ec} ثابت

G_{out} = ناقلية الخرج من أجل I_b ثابت

h_f = مميزات التحويل الأمامي من أجل V_{ec} ثابت

h_r = مميزات التحويل العكسي من أجل I_b ثابت

عندئذ تكون لدينا المعادلات التالية:

$$R_{in} = dV_{ec}/dI_e$$
$$G_{out} = dI_e/dV_{ec}$$
$$h_f = dV_{bc}/dI_b$$
$$h_r = dV_{bc}/dV_{ec}$$

Field-Effect Transistors ترانزستورات الأثر الحقلي

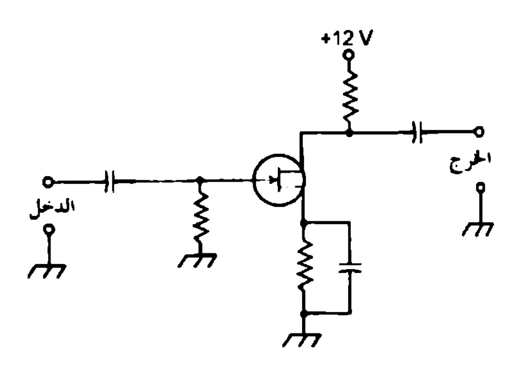
يقدم هذا الجزء العلاقات الخاصة بترانزستورات الأثر الحقلي (FET)، بنوعيها قناة-n وقناة-p.

الناقلية التبادلية الأمامية (منبع ـ مشترك)

Forward Transconductance (Common Source)

ليكن I_d هو تيار المصرف (بالأمبير) في تشكيلة ترانزستور FET منبع-مشترك (الشكل 13-5 أو 13-6). وليكن V_g هو جهد البوابة (بالفولت). عندئذ تعطى الناقلية التبادلية الأمامية G_{fs} (مقدرة بالسيمنس) بالعلاقة التالية:

$$G_{fs} = dI_d/dV_g$$



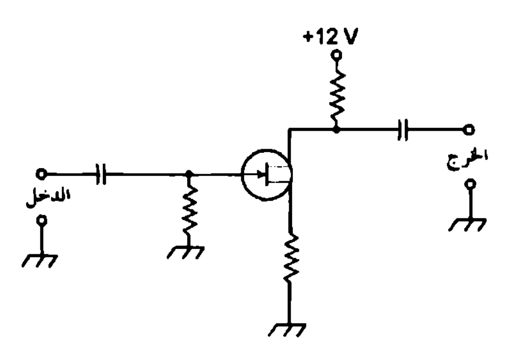
الشكل 13.5: تشكيلة منبع-مشترك مع تمرير مقاومة المنبع

تضخيم الجهد (منبع ـ مشترك)

Voltage Amplification (Common Source)

لتكن G_{fs} هي الناقلية التبادلية الأمامية (مقدرة بالسيمنس) لتشكيلة منبع-مشترك بدون تمرير مقاومة المنبع (الشكل 13.6). ولتكن R_d هي مقاومة (بالأوم) المصرف الخارجية. ولتكن R_s هي مقاومة (بالأوم) المنبع الخارجية. عندئذ يعطى تضخيم الجهد A_v (كنسبة) بالعلاقة التالية:

$$A_v = G_{fs} \times R_d/(1 + G_{fs} \times R_s)$$



الشكل 13.6: تشكيلة منبع-مشترك بدون تمرير مقاومة المنبع

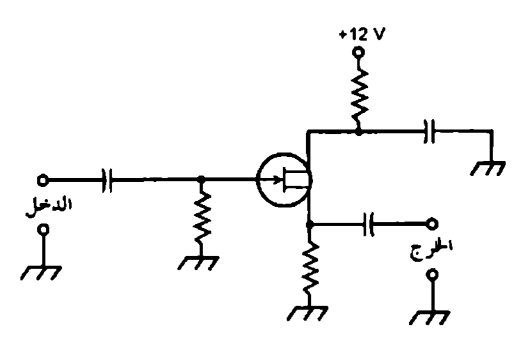
عند تمرير مقاومة المنبع (الشكل 13.5) تصبح العلاقة بالشكل:

$$A_v = G_{fs} \times R_d$$

تضخيم الجهد (مصرف - مشترك)
Voltage Amplification (Common-drain)

لتكن G_{fs} هي الناقلية التبادلية الأمامية (مقدرة بالسيمنس) لترانزستور FET بتشكيلة مصرف-مشترك (الشكل 13.7). ولتكن R_d هي مقاومة المصرف الخارجية (بالأوم). ولتكن R_s هي مقاومة المنبع الخارجية (بالأوم). عندئذ يعطى تضخيم الجهد A_v (كنسبة) بالعلاقة:

$$A_v = G_{fs} \times R_s/(1 + G_{fs} \times R_s)$$



الشكل 13.7: ترانزستور FET بتشكيلة مصرف مشترك

ممانعة الخرج (مصرف - مشترك)

Output Impedance (Common-drain)

لتكن G_{fs} هي الناقلية التبادلية الأمامية (مقدرة بالسيمنس) لترانزستور FET بتشكيلة مصرف-مشترك (الشكل 13.7). ولتكن R_s هي مقاومة المنبع الخارجية (بالأوم). عندئذ تعطى ممانعة الخرج Z_{out} (بالأوم) بالعلاقة التالية:

$$Z_{out} = R_s/(1 + G_{fs} \times R_s)$$

/ 14 /

الصمامات الإلكترونية
Electron Tubes

يحوي هذا الفصل علاقات تخص الصمامات الإلكترونية (ندعوها غالباً صمامات فقط). لقد تم استبدال هذه العناصر بعناصر أنصاف النواقل في تطبيقات الاستطاعة المنخفضة. لكن، لا تزال الصمامات مستخدمة في بعض التطبيقات، وخصوصاً تطبيقات الترددات الراديوية (RF) ذات الاستطاعة المرتفعة، وفي المضخات الصوتية.

السلوك الأساسي Basic Behavior

توضح المعادلات التالية العلاقات بين التيارات والجهود في الصمامات الإلكترونية.

انحراف الديود Diode Perveance

لتكن A_P هي مساحة سطح المصعد (الصفيحة) في صمام ديود (بالسنتمتر المربع). ولتكن S_{cg} هي المسافة الفاصلة بين المهبط والصفيحة (بالسنتمتر). عندئذ يعطى انحراف الديود G_d بالعلاقة التالية:

$$G_d = 2.3 \times 10^{-6} \times A_p/S_{cp}$$

Triode Perveance انحراف التريود

لتكن A_p هي مساحة سطح المصعد (الصفيحة) في صمام ديود (بالسنتمتر المربع). لتكن S_{cg} هي المسافة الفاصلة بين المهبط والصفيحة (بالسنتمتر). عندئذ يعطى انحراف التريود G_t بالعلاقة التالية:

$$G_t = 2.3 \times 10^{-6} \times A_p/S_{cg}$$

3/2 Power law for Diode قانون الاستطاعة 3/2 للديود

ليكن V_p هي جهد الصفيحة (بالفولت) في صمام ديود. وليكن G_d هي انحراف الديود. عندئذ يعطى تيار الصفيحة I_p (بالأمبير) تقريباً بالعلاقة التالية:

$$I_p = V_p^{3/2} \times G_d$$

3/2 Power law for Triode قانون الاستطاعة 3/2 للتريود

ليكن μ عامل التضخيم لصمام تريود. وليكن V_g هو جهد الشبكة (بالفولت). وليكن V_p هو جهد الصفيحة (بالفولت). وليكن G_t هو انحراف التريود. عندئذ يعطى تيار الصفيحة I_p (بالأمبير) تقريباً بالعلاقة التالية:

$$I_p = (\mu \times V_g + V_p)^{3/2} \times G_t$$

علاقة تيار الصفيحة بانحراف التريود

Plate Current vs. Perveance in Triode

ليكن V_g هي جهد الشبكة (بالفولت). وليكن V_p هي جهد الصفيحة (بالفولت). وليكن G_t هي انحراف التريود. وليكن μ هو عامل التضخيم. عندئذ يعطى تيار الصفيحة I_p (بالأمبير) تقريبا بالعلاقة التالية:

$$I_p = [(\mu \times V_g + V_p)/(\mu + 1)]^{3/2} \times G_t$$

البراميترات Parameters

تخص العلاقات التالية مقاومات المساري، وناقليات المساري، وعوامل التضخيم الخاصة بالصمامات متعددة العناصر.

مقاومة الصفيحة الداخلية المستمرة

DC Internal Plate Resistance

ليكن V_P هو الجهد مهبط-صفيحة المستمر (بالفولت) في الصمام المفرغ. ليكن I_P هو التيار المستمر المتدفق في دارة الصفيحة (بالأمبير). عندئذ تعطى مقاومة الصفيحة الداخلية المستمرة R_P (بالأوم) بالعلاقة التالية:

$$R_P = V_P/I_P$$

مقاومة الشاشة الداخلية المستمرة

DC Internal Screen Resistance

ليكن V_s هو الجهد شبكة-شاشة المستمر (بالفولت) في صمام تترود أو بنتود. وليكن I_s هو التيار المتدفق في دارة الشاشة (بالأمبير). عندئذ تعطى مقاومة الشاشة الداخلية المستمرة بالعلاقة التالية:

$$R_s = V_s/I_s$$

مقاومة الصفيحة الداخلية الديناميكية

Dynamic Internal Plate Resistance

لتكن V_P هي الجهد مهبط-صفيحة اللحظي (بالفولت) في صمام تريود أو بنتود. وليكن I_P هو التيار اللحظي المتدفق في دارة الصفيحة (بالأمبير). بفرض أن جهد تحكم الشبكة V_g ثابت، عندئذ تعطى مقاومة الصفيحة الداخلية الديناميكية R_{Pd} (بالأوم) بالعلاقة التالية:

$$R_P = dV_P/dI_P$$

مقاومة الشاشة الداخلية الديناميكية
Dynamic Internal Screen Resistance

ليكن V_s هو الجهد شبكة-شاشة اللحظي (بالفولت) في صمام تريود أو بنتود. وليكن I_s هو التيار اللحظي المتدفق في دارة الشاشة (بالأمبير) عندئذ تعطى مقاومة الشاشة الداخلية الديناميكية R_{sd} (بالأوم) بالعلاقة التالية:

$$R_{sd} = dV_s/dI_s$$

Transconductance الناقلية التبادلية

ليكن V_s هو الجهد شبكة-شاشة اللحظي (بالفولت). وليكن I_s هو التيار اللحظي المتدفق في دارة الصفيحة. بفرض أن جهد الصفيحة المستمر V_P ثابت، عندئذ تعطى الناقلية التبادلية g_m (مقدرة بواحدة السيمنس) بالعلاقة التالية:

$$g_m = dI_P/dV_g$$

Plate Amplification Factor عامل تضخيم الصفيحة

ليكن V_P هو جهد الصفيحة اللحظي (بالفولت). وليكن V_g هو جهد تحكم الشبكة اللحظي (بالفولت). ولتكن g_m هي الناقلية التبادلية (مقدرة بالسيمنس). ولتكن R_{Pd} هي مقاومة الصفيحة الداخلية الديناميكية (بالأوم). بفرض أن تيار الصفيحة I_P ثابت، عندئذ يعطى عامل تضخيم الصفيحة μ_p (كنسبة) بإحدى العلاقتين التاليتين:

$$\mu_p = dV_p/dV_g$$

$$\mu_p = R_{Pd} \times g_m$$

عامل تضخيم الشاشة Screen Amplification Factor

ليكن V_S هو الجهد شبكة-شاشة اللحظي (بالفولت) في صمام ترود أو بنتود. وليكن V_g هو جهد تحكم الشبكة (بالفولت). بفرض أن التيار شبكة-شاشة I_S ثابت، عندئذ يعطى عامل تضخيم الشاشة μ_s (كنسبة) بالعلاقة التالية:

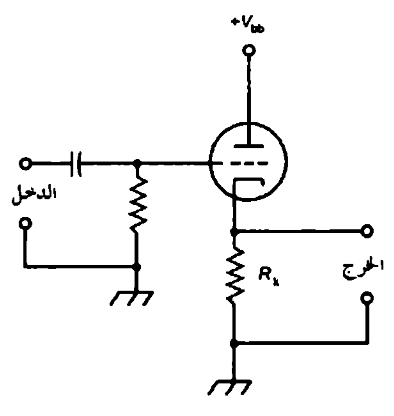
$$\mu_s = dV_s/dV_g$$

مقاومة الخرج في تشكيلة تابع مهبط

Output Resistance in Cathode Follower

لتكن g_m هي الناقلية التبادلية (مقدرة بالسيمنس) لصمام وفق تشكيلة التابع المهبطي (الشكل 14.1). ولتكن R_k هي مقاومة المهبط الخارجي (بالأوم). عندئذ تعطى مقاومة الخرج R_{out} (بالأوم) بالعلاقة التالية:

$$R_{out} = R_k/(1 + g_m \times R_k)$$



الشكل 14.1: صمام إلكتروني بتشكيلة تابع مهبطي

Input Capacitance سعة الدخل

لتكن C_{gk} هي السعة بين تحكم الشبكة والمهبط (بالبيكو فاراد). ولتكن C_{gp} هي السعة بين شبكة التحكم والصفيحة (بالبيكوفاراد). وليكن μ هو عامل التضخيم (كنسبة). عندئذ تعطى سعة الدخل C_{in} بالعلاقة التالية:

$$C_{in} = C_{gk} + C_{gp} \times (\mu + 1)$$

Circuit Formulas علاقات الدارة

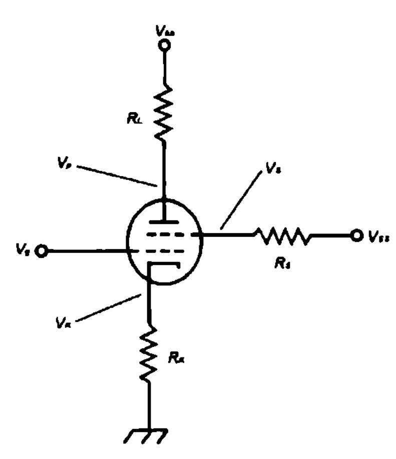
تقدم المعادلات التالية علاقات الجهود، والتيارات، والمقاومات في الدارات التي تستخدم الصمامات الإلكترونية. انظر الشكل 14.2.

Required DC Supply Voltage جهد التغذية المستمر المطلوب

ليكن V_k هو جهد المهبط المطلوب (بالفولت). ولتكن R_k هي مقاومة المهبط الخارجية (بالأوم). ولتكن R_L هي مقاومة الصفيحة الخارجية (بالأوم). وليكن V_L هو الجهد (بالفولت) على طرفي مقاومة الصفيحة الخارجية. وليكن I_k هو تيار المهبط (بالأمبير). ليكن I_p هو تيار الصفيحة (بالأمبير). وليكن V_p هو الجهد مهبط-صفيحة اللازم (بالفولت). عندئذ يعطى جهد التغذية المستمر المطلوب V_{bb} (بالفولت) وفق إحدى العلاقتين التاليتين:

$$V_{bb} = V_b + V_k + V_L$$

$$V_{bb} = V_p + I_k \times R_k + I_p \times R_L$$



الشكل 14.2: دارة صمام إلكتروني عامة

الجهد مهبط - صفيحة المستمر DC Plate-Cathode Voltage

ليكن V_{bb} هو جهد التغذية (بالفولت). وليكن V_k هو جهد المهبط بالنسبة للأرض (بالفولت). وليكن I_p هو تيار الصفيحة (بالأمبير). لتكن R_L هي مقاومة الصفيحة الخارجية (بالأوم). عندئذ يعطى الجهد مهبط-صفيحة V_p (بالفولت) وفق العلاقة التالية:

$$V_p = V_{bb} - (I_p \times R_L - V_k)$$

جهد الشاشة المستمر DC Screen Voltage

ليكن V_{ss} هو جهد تغذية شبكة-شاشة المستمر (بالفولت). وليكن I_s هو تيار الشاشة (بالأمبير). ولتكن R_s هي مقاومة دارة الشاشة الخارجية (بالأوم). عندئذ يعطى جهد الشاشة المستمر V_s (بالفولت) بالعلاقة التالية:

$$V_s = V_{ss} - I_s \times R_s$$

Screen Current تيار الشاشة

ليكن V_g هو جهد تحكم الشبكة المستمر (بالفولت). وليكن V_s هو جهد الشاشة المستمر (بالفولت). ولتكن G هي انحراف الصمام الإلكتروني. ولتكن μ_s هو عامل تضخيم الشاشة. عندئذ يعطى تيار الشاشة I_s (بالأمبير) بالعلاقة التالية:

$$I_s = G \times (V_g + V_s/\mu_s)$$

مقاومة الصفيحة الخارجية المطلوبة
Required External Plate Resistance

ليكن V_{pp} هو جهد التغذية المستمر (بالفولت). وليكن V_k هو جهد المهبط بالنسبة للأرض المطلوب (بالفولت). وليكن V_p هو الجهد مهبط–صفيحة المطلوب (بالفولت). وليكن I_p هو تيار الصفيحة المطلوب (بالأمبير). عندئذ تعطى مقاومة الصفيحة الخارجية المطلوبة R_L (بالأوم) بالعلاقة التالية:

$$R_L = [V_{bb} - (V_p + V_k)]/I_p$$

مقاومة المهبط الخارجية المطلوبة
Required External Cathode Resistance

ليكن V_{pp} هو جهد التغذية (بالفولت). وليكن V_g هو جهد الشبكة (بالفولت). وليكن I_k هو تيار المهبط (بالأمبير). عندئذ تعطى مقاومة المهبط الخارجية المطلوبة R_k (بالأوم) بالعلاقة التالية:

$$R_k = (V_{bb} - V_g)/I_k$$

مقاومة الشاشة الخارجية اللازمة

Required External Screen Resistance

ليكن V_s هو جهد الشاشة المطلوب (بالفولت). وليكن V_{ss} هو جهد تغذية الشاشة (بالفولت). وليكن I_s هو تيار الشاشة اللازمة (بالأمبير). عندئذ تعطى مقاومة الشاشة الخارجية المطلوبة R_s بالعلاقة التالية:

$$R_s = (V_{ss} - V_s)/I_s$$

تضخيم وربح الجهد Voltage Amplification and Gain

لتكن g_m هي الناقلية التبادلية لصمام إلكتروني. وليكن μ هو عامل التضخيم. ولتكن R_p هي مقاومة الصفيحة الداخلية (بالأوم). لتكن R_L هي المقاومة الخارجية (بالأوم). عندئذ يعطى تضخيم الجهد A_v (كنسبة) بإحدى العلاقات التالية:

$$A_v = g_m \times R_p \times R_L/(R_p + R_L)$$
$$A_v = \mu \times R_L/(R_p + R_L)$$

يعطى ربح الجهد G_v (بالديسبل)، وذلك بفرض أن الممانعة ثابتة، وفق إحدى العلاقات التالية:

$$G_v = 20 \times \log_{10}[g_m \times R_p \times R_L/(R_p + R_L)]$$
$$G_v = 20 \times \log_{10}[\mu \times R_L/(R_p + R_L)]$$

علاقات الاستطاعة Power Formulas

تبين المعادلات التالية استهلاك الاستطاعة في الصمام الإلكتروني، والتضخيم، والربح في تشكيلة المهبط-المؤرض (الشكل 14.2).

Power Amplification and Gain تضخيم وربح الاستطاعة

لتكن P_{in} هي استطاعة إشارة الدخل (بالواط) المطبقة على تحكم الشبكة في صمام إلكتروني. ولتكن P_{out} هي استطاعة إشارة الخرج في دارة صفيحة. عندئذ يعطى تضخيم الاستطاعة A_p (كنسبة) بالعلاقة التالية:

$$A_p = P_{out}/P_{in}$$

فيما يعطى ربح الاستطاعة G_p (بالديسبل) بالعلاقة التالية:

$$G_p = 10 \times \log_{10}(P_{out}/P_{in})$$

Filament Power Demand استطاعة الفتيل المطلوبة

ليكن V_f هو جهد الفتيل الفعال (بالجهد rms). وليكن I_f هو تيار الفتيل الفعال (بالأمبير rms). ولتكن R_f هي مقاومة الفتيل (بالأوم). عندئذ تعطى استطاعة الفتيل المطلوبة P_f (بالواط) وفق العلاقات التالية:

$$P_f = V_f \times I_f$$

$$P_f = I_f^2 \times R_f$$

$$P_f = V_f^2 \times R_f$$

DC Screen Power استطاعة الشاشة المستمرة

ليكن V_s هو جهد الشاشة المستمر (بالفولت). وليكن I_s هو التيار المستمر في دارة الشاشة (بالأمبير). عندئذ تعطى استطاعة الشاشة المستمرة P_s (بالواط) بالعلاقة التالية:

$$P_s = V_s \times I_s$$

استطاعة دخل الصفيحة المستمرة DC Plate Input Power

ليكن V_p هو جهد الصفيحة المستمر (بالفولت). وليكن I_p هو التيار المستمر في دارة الصفيحة (بالأمبير). عندئذ تعطى استطاعة دخل الصفيحة المستمرة (بالواط) وفق العلاقة التالية:

$$P_{p\text{-}in} = V_p \times I_p$$

استطاعة إشارة الخرج Signal Output Power

ليكن V_{max} هو جهد الصفيحة اللحظي الأعظمي (بالفولت). ليكن V_{min} هو جهد الصفيحة الأصغري اللحظي (بالفولت). ليكن I_{max} هو تيار الصفيحة اللحظي الأعظمي (بالأمبير). وليكن I_{min} هو تيار الصفيحة اللحظي الأصغري (بالأمبير). عندئذ تعطى استطاعة إشارة الخرج $P_{s\text{-}out}$ (بالواط) وفق العلاقة التالية:

$$P_{s\text{-}out} = 0.125 \times (V_{max} \times I_{max} - V_{max} \times I_{min} - V_{min} \times I_{max} + V_{min} \times I_{min})$$

تبديد الاستطاعة في الصفيحة Plate Power Dissipation

لتكن $P_{p\text{-}in}$ هي استطاعة دخل الصفيحة المستمرة (بالواط). لتكن $P_{s\text{-}out}$ هي استطاعة إشارة خرج الصفيحة (بالواط). عندئذ تعطى استطاعة تبديد الصفيحة $P_{p\text{-}dis}$ (بالواط) وفق العلاقة التالية:

$$P_{p\text{-}dis} = P_{p\text{-}in} - P_{s\text{-}out}$$

فعالية الصفيحة Plate Efficiency

لتكن $P_{p\text{-}in}$ هي استطاعة دخل الصفيحة المستمرة (بالواط). ولتكن $P_{s\text{-}out}$ هي استطاعة إشارة خرج الصفيحة (بالواط). عندئذ تعطى فعالية الصفيحة η_p بالعلاقة التالية:

$$\eta_p = P_{s\text{-}out}/P_{p\text{-}in}$$

تعطى فعالية الصفيحة كنسبة مئوية $\eta_p^{\%}$ بالعلاقة التالية:

$$\eta_p^{\%} = 100 \times P_{s\text{-}out}/P_{p\text{-}in}$$

Input Power Sensitivity حساسية استطاعة الدخل

ليكن $V_{g\text{-}in}$ هو جهد إشارة دخل الشبكة (بالفولت). ولتكن $P_{s\text{-}out}$ هي استطاعة إشارة الخرج (بالواط). عندئذ تعطى حساسية استطاعة الدخل S_p (واط في الفولت) بالعلاقة التالية:

$$S_p = P_{s\text{-}out}/V_{g\text{-}in}$$

/ 15 /

الموجات الكهرومغناطيسية وأنظمة الهوائيات

Electromagnetic Waves and Antenna Systems

يحوي هذا الفصل معلومات وعلاقات عن الحقول الكهرومغناطيسية، خطوط النقل والهوائيات.

الحقول الكهرومغناطيسية Electromagnetic Fields

يتولد الحقل الكهرومغناطيسي (EM) عند تحريك جسيمات مشحونة. في معظم الحالات العملية، تكون هذه الحركة متناوبة ودورية.

علاقة التردد بطول الموجة Frequency vs. Wavelength

ليكن f هو تردد (بالهرتز) موجة كهرومغناطيسية (EM). ولتكن λ هي طول الموجة (بالمتر). ولتكن C هي سرعة الانتشار (بالمتر في الثانية). عندئذ نحصل على العلاقة التالية:

$$C = f \times \lambda$$

تقريباً تساوي C في الفضاء الحر 2.99792×10^8 متر في الثانية. يتم في معظم التطبيقات تقريب القيمة السابقة إلى 3.00×10^8 متر في الثانية.

Free-Space Wavelength طول الموجة في الفضاء الحر

يتعلق طول الموجة في الفضاء الحر لحقل EM بالتردد. عموماً، كلما كان التردد أكبر كلما كان طول الموجة أقصر. لنفرض:

λ_{ft} = طول الموجة في الفضاء الحر (بالقدم)

λ_{in} = طول الموجة في الفضاء الحر (بالإنش)

λ_{m} = طول الموجة في الفضاء الحر (بالمتر)

λ_{cm} = طول الموجة في الفضاء الحر (بالسنتيمتر)

f_{MHz} = التردد (بالميغا هرتز)

f_{GHz} = التردد (بالجيغا هرتز)

عندئذ يكون لدينا العلاقات التالية:

$$\lambda_{ft} = 984/f_{MHz}$$
$$\lambda_{ft} = 0.984/f_{GHz}$$
$$\lambda_{in} = 11.8/f_{GHz}$$
$$\lambda_{m} = 300/f_{MHz}$$
$$\lambda_{m} = 0.300/f_{GHz}$$
$$\lambda_{cm} = 30.0/f_{GHz}$$

Angular Frequency التردد الزاوي

ليكن f هو تردد حقل EM (بالهرتز). عندئذ يعطى التردد الزاوي ω (بالراديان في الثانية) بالعلاقة التالية:

$$\omega = 2 \times \pi \times f \approx 6.28 \times f$$

يعطى التردد الزاوي مقدراً بالدرجة في الثانية بالعلاقة التالية:

$$\omega = 360 \times f$$

الدور Period

ليكن f هو تردد حقل EM (بالهرتز). يعطى الدور T (بالثانية) وفق العلاقة التالية:

$$T = 1/f$$

إذا كان التردد الزاوي ω مقدراً بالراديان في الثانية عندها يكون:

$$T = 2 \times \pi/\omega \approx 6.28/\omega$$

إذا كان التردد الزاوي ω مقدراً بالدرجة في الثانية عندها يكون:

$$T = 360/\omega$$

خطوط نقل RF Transmission Lines RF

أنواع خطوط نقل RF الأكثر شهرة هي الكبل المحوري (غير متوازن)، وخط ثنائي السلك (متوازن). تطبق العلاقات التالية على مثل هذه الخطوط مع اعتبار ثابت العزل الكهربائي للهواء الجاف.

الممانعة المميزة للكبل المحوري

Characteristic Impedance of Coaxial Cable

ليكن d_1 هو القطر الخارجي للناقل المركزي في خط النقل المحوري. وليكن d_2 هو القطر الداخلي للشيلد (بنفس واحدة d_1). عندئذ تعطى الممانعة المميزة Z_0 لخط النقل (بالأوم) بالعلاقة التالية:

$$Z_0 = 138 \times \log_{10}(d_2/d_1)$$

الممانعة المميزة لخط ثنائي-السلك

Characteristic Impedance of tow-wire line

ليكن d هو القطر الخارجي لكل من السلكين في خط ثنائي-السلك؛ بفرض أن كلا السلكين من نفس القطر. لتكن S هي المسافة على الخط، وأنها مقدرة بنفس واحدة d. عندئذ تعطى الممانعة المميزة Z_0 لخط النقل (بالأوم) بالعلاقة التالية:

$$Z_0 = 276 \times \log_{10}(2 \times S/d)$$

عامل السرعة Velocity Factor

لتكن C_0 سرعة انتشار اضطراب كهرومغناطيسي (EM) على طول خط نقل (بالمتر في الثانية). عندئذ يعطى عامل السرعة v لخط النقل (كنسبة) بالعلاقة التالية:

$$v = C_0/(3.00 \times 10^8)$$

يعطى عامل السرعة كنسبة مئوية $V_{\%}$ بالعلاقة:

$$v_{\%} = C_0/(3.00 \times 10^6)$$

يبين الجدول 15.1 عوامل السرعة التقريبية لخطوط نقل RF الأكثر شيوعاً.

الجدول 15.1: عوامل السرعة لخطوط نقل RF. القيم تقريبية

الوصف العام	عامل السرعة
كبل محوري، عازل كهربائي بولي إثيلين صلب	0.66
كبل محوري قاسي، عازل كهربائي بولي إثيلين صلب	0.66
كبل محوري، عازل كهربائي بولي إثيلين إسفنجي	0.75 - 0.85
كبل محوري قاسي، عازل كهربائي بولي إثيلين إسفنجي (فوم)	0.75 - 0.85

عامل السرعة	الوصف العام
0.85 - 0.90	كبل محوري، فواصل أقراص بولي إثيلين صلب (فوم)
0.70 - 0.80	كبل TV بناقل مزدوج، 75 أوم
0.80 - 0.90	كبل TV بناقل مزدوج، 300 أوم
0.85 - 0.90	كبل شفاف سلك-متوازي
0.90 - 0.95	خط سلمي سلك-متوازي مع فواصل بلاستيكية
0.95	خط سلك-مفتوح بدون فواصل
0.95	خط سلك مفرد

طول الموجة الكهربائية Electrical Wavelength

يتعلق طول الموجة في أوساط غير الفضاء الحر بالتردد، وبعامل السرعة (v) للوسط الذي ينشر فيه الحقل. لنفرض:

λ_{ft} = طول الموجة في الفضاء الحر (بالقدم)

λ_{in} = طول الموجة في الفضاء الحر (بالإنش)

λ_{m} = طول الموجة في الفضاء الحر (بالمتر)

λ_{cm} = طول الموجة في الفضاء الحر (بالسنتيمتر)

f_{MHz} = التردد (بالميغا هرتز)

f_{GHz} = التردد (بالجيغا هرتز)

عندئذ يكون لدينا العلاقات التالية:

$$\lambda_{ft} = 984 \times v/f_{MHz}$$

$$\lambda_{ft} = 0.984 \times v/f_{GHz}$$

$$\lambda_{in} = 11.8 \times v/f_{GHz}$$
$$\lambda_{m} = 300 \times v/f_{MHz}$$
$$\lambda_{m} = 0.300 \times v/f_{GHz}$$
$$\lambda_{cm} = 30.0 \times v/f_{GHz}$$

ليكن $v_{\%}$ هو عامل السرعة كنسبة مئوية متغيرة بين 0–100، عندئذ يكون لدينا:

$$\lambda_{ft} = 9.84 \times v_{\%}/f_{MHz}$$
$$\lambda_{ft} = 9.84 \times 10^{-3} \times v_{\%}/f_{GHz}$$
$$\lambda_{in} = 0.118 \times v_{\%}/f_{GHz}$$
$$\lambda_{m} = 3.00 \times v_{\%}/f_{MHz}$$
$$\lambda_{m} = 3.00 \times 10^{-3} \times v_{\%}/f_{GHz}$$
$$\lambda_{cm} = 0.300 \times v_{\%}/f_{GHz}$$

طول جزء توافق ربع-موجة

Length of 1/4 –Wave Matching Section

يستخدم طول جزء توافق ربع-موجة من خط نقل من أجل توافق الممانعات، وذلك تبعاً للتردد ولعامل سرعة الخط. لنفرض أن:

S_{ft} = طول الجزء (بالقدم)

S_{in} = طول الجزء (بالإنش)

S_{m} = طول الجزء (بالمتر)

S_{cm} = طول الجزء (بالسنتيمتر)

f_{MHz} = التردد (بالميغا هرتز)

f_{GHz} = التردد (بالجيغا هرتز)

v = عامل السرعة (كنسبة بين 0-1).

عندها تكون لدينا المعادلات التالية:

$$S_{cm} = 7.50 \times v/f_{GHz}$$
$$S_{ft} = 246 \times v/f_{MHz}$$
$$S_{ft} = 0.246 \times v/f_{GHz}$$
$$S_{in} = 2.95 \times v/f_{GHz}$$
$$S_m = 75.0 \times v/f_{MHz}$$
$$S_m = 7.50 \times 10^{-2} \times v/f_{GHz}$$

ليكن $V_{\%}$ هو عامل السرعة كنسبة مئوية متغيرة بين 0-100، عندئذ يكون لدينا:

$$S_{cm} = 7.50 \times 10^{-2} \times v_{\%}/f_{GHz}$$
$$S_{ft} = 2.46 \times v_{\%}/f_{MHz}$$
$$S_{ft} = 0.24 \times 10^{-2} \times v_{\%}/f_{GHz}$$
$$S_{in} = 2.95 \times 10^{-3} \times v/f_{GHz}$$
$$S_m = 0.750 \times v_{\%}/f_{MHz}$$
$$S_m = 7.50 \times 10^{-4} \times v_{\%}/f_{GHz}$$

الممانعة المميزة لجزء توافق ربع-موجة
Characteristic Impedance of 1/4 –Wave Matching Section

يجب أن تكون الممانعة المميزة لجزء توافق ربع-موجة تساوي إلى المتوسط الهندسي لممانعات الدخل والخرج. لنفرض:

Z_0 = الممانعة المميزة لجزء التوافق (بالأوم)

Z_{in} = ممانعة الدخل (بالأوم)

Z_{out} = ممانعة الخرج (الأوم)

عندها يكون لدينا العلاقة التالية:

$$Z_0 = (Z_{in} \times Z_{out})^{1/2}$$

Standing Wave Ratio (SWR) — نسبة الموجة المستقرة (SWR)

بفرض أن خط نقل RF ينتهي بحمل ممانعته (بالأوم) هي مقاومة صرفة R_{load}. ولتكن Z_0 هي الممانعة المميزة للخط (بالأوم).

إذا كانت $R_{load} > Z_0$ عندها تعطى SWR بالعلاقة:

$$SWR = R_{load}/Z_0$$

إذا كانت $R_{load} < Z_0$ عندها تعطى SWR بالعلاقة:

$$SWR = Z_0/R_{load}$$

إذا كانت $R_{load} = Z_0$ عندها تعطى SWR بالعلاقة:

$$SWR = R_{load}/Z_0 = Z_0/R_{load} = 1:1$$

عندما ينتهي خط نقل بحمل ممانعته ليست مقاومة صرفة، عندها تتحدد SWR تبعاً للجهد أو التيار الأعظمي والأصغري في الخط.

نسبة جهد الموجة المستقرة (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

ليكن V_{max} هو جهد RF الأعظمي (بالفولت) بين النواقل في خط نقل. وليكن V_{min} هو جهد RF الأصغري (بالفولت) بين النواقل في خط النقل. ولتكن

المسافة بين النقاط التي ينشأ فيها V_{max}، V_{min} مساوية لربع طول الموجة الكهربائية. عندئذ تعطى نسبة جهد الموجة المستقرة (VSWR) بالعلاقة التالية:

$$VSWR = V_{max}/V_{min}$$

نسبة تيار الموجة المستقرة (ISWR)

Current Standing Wave Ratio (ISWR)

ليكن I_{max} هو تيار RF الأعظمي (بالأمبير) في خط نقل. وليكن I_{min} هو تيار RF الأصغري في الخط (بالأمبير). ولتكن المسافة بين النقاط التي ينشأ فيها I_{max} وI_{min} مساوية لربع طول الموجة الكهربائية. ويكون التيار أعظمياً في نفس نقاط خط النقل التي يكون فيها الجهد أصغرياً. أيضاً يكون التيار أصغرياً في نفس نقاط خط النقل التي يكون فيها الجهد أعظمياً. عندئذ يعطى تيار نسبة الموجة المستقرة (LSWR) بالعلاقة:

$$ISWR = I_{max}/I_{min}$$

العلاقة بين SWR، VSWR، ISWR

Relationship among SWR, VSWR, and ISWR

نظرياً، وبفرض أن الضياع في خط النقل معدوم، يكون لدينا عندها العلاقة:

$$SWR = VSWR = ISWR$$

عملياً، وعندما يكون الضياع في خط النقل غير مهمل، عندها تختلف المقادير السابقة عن بعضها تبعاً للنقاط التي يقاس فيها الجهد والتيار. وتكون هذه النسب أخفض من طرف التجهيزات (المرسل)، وأعلى من طرف الهوائي (الحمل).

علاقة معامل الانعكاس بـ SWR

Reflection Coefficient vs. SWR

لتكن S هي SWR، أو VSWR، أو ISWR المقاسة من طرف الهوائي (الحمل) لخط نقل RF. عندئذ يعطى معامل الانعكاس k بالعلاقة:

$$k = (S - 1)/S$$

علاقة معامل الانعكاس بمقاومة الحمل

Reflection Coefficient vs. load Resistance

بفرض أن لدينا خط نقل RF ينتهي بحمل ممانعته (بالأوم) هي مقاومة صرفة R_{load}. لتكن Z_0 هي الممانعة المميزة للخط (بالأوم). عندئذ يعطى معامل الانعكاس k بالعلاقة:

$$k = (R_{load} - Z_0)/(R_{load} + Z_0)$$

Loss in Matched Lines الضياع في خطوط التوافق

يبين الجدول 15.2 الضياع التقريبي (بالديسبل في 100 قدم وفي 100 متر) في أنواع مختلفة من خطوط النقل التي تحقق الشروط SWR 1:1 (توافق تام). على فرض أن العوازل الكهربائية هي بولي إثيلين صلب، ما عدا الخط السلمي حيث العازل هو فواصل بلاستيكية.

الجدول 15.2A: الضياع التقريبي بالديسبل في 100 قدم لمختلف خطوط النقل التي تحقق الشرط SWR 1:1.

100MHz	10MHz	1MHz	نوع الخط
0.5	0.1	0.05	خط سلمي 600 أوم
1.5	0.5	0.1	كبل TV 300 أوم

نوع الخط	1MHz	10MHz	100MHz
كبل محوري RG-8/U	0.15	0.6	2.0
كبل محوري RG-59/U	0.3	1.0	4.0
كبل محوري RG-58/U	0.3	1.4	5.0

الجدول 15.2B: الضياع التقريبي بالديسبل في 100 متر لمختلف خطوط النقل التي تحقق الشرط 1:1 SWR.

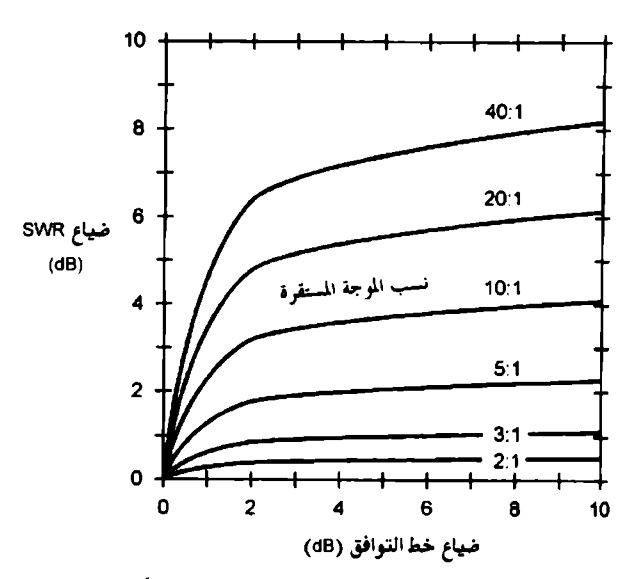
نوع الخط	1MHz	10MHz	100MHz
خط سلمي 600 أوم	0.16	0.33	1.6
كبل TV 300 أوم	0.33	3.3	4.9
كبل محوري RG-8/U	0.49	2.0	6.5
كبل محوري RG-59/U	1.0	3.3	1.3
كبل محوري RG-58/U	0.3	1.4	5.0

ضياع SWR Loss SWR

يبين الشكل 15.1 الضياع التقريبي (بالديسبل) الذي ينشأ، بالإضافة إلى ضياع خط التوافق، في خط نقل عندما يكون SWR لا يساوي 1:1. ندعو هذا الضياع الإضافي ضياع SWR، والذي يكون أصغرياً إلا إذا كان SWR أكبر من 2:1. قد يكون ضياع SWR كبيراً إن كان سوء التوافق معتبراً في الخطوط الطويلة عند الترددات المرتفعة.

الهوائيات Antennas

يتعلق الحجم الفيزيائي لهوائي تجاوب بطول الموجة الكهربائية، والتي بدورها تتعلق بالتردد.



الشكل 15.1: ضياع SWR التقريبي كتابع لضياع خط التوافق وSWR (مقاساً من طرف الحمل)

مقاومة الإشعاع Radiation Resistance

لتكن P_{rad} هي الاستطاعة المشعة من هوائي تجاوب (بالواط). وليكن I_{rad} هو التيار (بالأمبير) الذي سيتدفق في مقاومة موضوعة في نقطة التغذية، وذلك إذا كان استخدام تلك المقاومة بدلاً عن الهوائي سيعطي نفس توزيع تيار خط-التغذية كما في الهوائي. عندئذ تعطى مقاومة الإشعاع R_{rad} (بالأوم) لهوائي التجاوب بالعلاقة التالية:

$$R_{rad} = P_{rad}/I_{rad}^2$$

فعالية الهوائي Antenna Efficiency

لتكن R_{rad} هي مقاومة الإشعاع لهوائي ما (بالأوم). ولتكن R_{loss} هي مقاومة الضياع في الهوائي وفي المكونات المرفقة، مثل ملفات الحمل، الأقفاص، نظام الأرضي، ...الخ. عندئذ تعطى فعالية الهوائي η (كنسبة) بالعلاقة:

$$\eta = R_{rad}/(R_{rad} + R_{loss})$$

فيما تعطى فعالية الهوائي كنسبة مئوية $\eta_{\%}$ بالعلاقة:

$$\eta_{\%} = 100 \times R_{rad}/(R_{rad} + R_{loss})$$

طول هوائي نصف-موجة ثنائي القطب

Length of 1/2-Wave Dipole Antenna

من أجل هوائي ثنائي قطب نصف-موجة يغذى في المركز، وموضوع على الأقل على بعد ¼ طول الموجة من الأرض الفعلية، ومكون من سلك مشترك، لنفرض:

S_{ft} = الطول من نهاية إلى أخرى (بالقدم)

S_{in} = الطول من نهاية إلى أخرى (بالإنش)

S_{m} = الطول من نهاية إلى أخرى (بالمتر)

S_{cm} = الطول من نهاية إلى أخرى (بالسنتيمتر)

f_{MHz} = التردد (بالميغا هرتز)

f_{GHz} = التردد (بالجيغا هرتز)

عندها تكون لدينا العلاقات التالية:

$$S_{ft} = 468/f_{MHz}$$
$$S_{ft} = 0.468/f_{GHz}$$

$$S_{in} = 5.62/f_{GHz}$$
$$S_m = 143/f_{MHz}$$
$$S_m = 0.143/f_{GHz}$$
$$S_{cm} = 14.3/f_{GHz}$$

في الهوائيات المشكلة من قضيب معدني، يجب ضرب القيم السابقة بحوالي 0.95 (95 بالمئة). لكن طول الهوائي المثالي الدقيق، على أية حالة، يجب أن يحدد تجريبيا لأنه يتعلق بنسبة قطر القضيب إلى طول الموجة، كما أنه يتعلق بالجو المحيط.

ارتفاع هوائي ربع-موجة عمودي

Height of ¼-Wave Vertical Antenna

من أجل هوائي ربع-موجة عمودي مكون من سلك مشترك، وموضوع فوق أرض ناقلة بشكل جيد، لنفرض:

h_{ft} = ارتفاع العنصر المشع (بالقدم)

h_{in} = ارتفاع العنصر المشع (بالإنش)

h_m = ارتفاع العنصر المشع (بالمتر)

h_{cm} = ارتفاع العنصر المشع (بالسنتيمتر)

f_{MHz} = التردد (بالميغا هرتز)

f_{GHz} = التردد (بالجيغا هرتز)

عندها تكون لدينا العلاقات التالية:

$$h_{ft} = 234/f_{MHz}$$
$$h_{ft} = 0.234/f_{GHz}$$
$$h_{in} = 2.81/f_{GHz}$$
$$h_m = 71.5/f_{MHz}$$

$$h_m = 7.15 \times 10^{-2}/f_{GHz}$$
$$h_{cm} = 7.15/f_{GHz}$$

في الهوائيات المشكلة من قضيب معدني، يجب ضرب القيم السابقة بحوالي 0.95 (95 بالمئة). لكن ارتفاع الهوائي المثالي الدقيق، على أية حالة، يجب أن يحدد تجريبيا لأنه يتعلق بنسبة قطر القضيب إلى طول الموجة، كما يتعلق بالجو المحيط.

طول هوائي توافقي متجاوب

Length of Resonant Harmonic Antenna

من أجل هوائي توافقي متجاوب يغذى عند المضاعفات الصحيحة لربع طول الموجة من كلا النهايتين، وموضوع على الأقل على مسافة ربع طول الموجة فوق الأرض، ومكون من سلك مشترك، لنفرض:

S_{ft} = الطول من نهاية إلى أخرى (بالقدم)

S_{in} = الطول من نهاية إلى أخرى (بالإنش)

S_m = الطول من نهاية إلى أخرى (بالمتر)

S_{cm} = الطول من نهاية إلى أخرى (بالسنتيمتر)

f_{MHz} = التردد (بالميغا هرتز)

f_{GHz} = التردد (بالجيغا هرتز)

n = التوافقية التي يعمل عندها الهوائي (عدد صحيح موجب)

عندها تكون لدينا العلاقات التالية:

$$S_{ft} = 492 \times (n - 0.05)/f_{MHz}$$
$$S_{ft} = 0.492 \times (n - 0.05)/f_{GHz}$$
$$S_{in} = 5.90 \times (n - 0.05)/f_{GHz}$$
$$S_m = 150 \times (n - 0.05)/f_{MHz}$$

$$S_m = 0.150 \times (n - 0.05)/f_{GHz}$$
$$S_{cm} = 15.0 \times (n - 0.05)/f_{GHz}$$

طول سلك طويل غير منته متجاوب

Length of Resonant Unterminated Long Wire

من أجل هوائي سلك طويل غير منته متجاوب يغذى من كلا الطرفين، وموضوع على الأقل على مسافة ربع طول الموجة فوق الأرض، ومكون من سلك مشترك. لنفرض:

S_{ft} = الطول من نهاية إلى أخرى (بالقدم)

S_{in} = الطول من نهاية إلى أخرى (بالإنش)

S_m = الطول من نهاية إلى أخرى (بالمتر)

S_{cm} = الطول من نهاية إلى أخرى (بالسنتيمتر)

f_{MHz} = التردد (بالميغا هرتز)

f^{GHz} = التردد (بالجيغا هرتز)

n = التوافقية التي يعمل عندها الهوائي (عدد صحيح موجب)

عندها تكون لدينا العلاقات التالية:

$$S_{ft} = 984 \times (n - 0.025)/f_{MHz}$$
$$S_{ft} = 0.984 \times (n - 0.025)/f_{GHz}$$
$$S_{in} = 11.8 \times (n - 0.025)/f_{GHz}$$
$$S_m = 300 \times (n - 0.025)/f_{MHz}$$
$$S_m = 0.300 \times (n - 0.025)/f_{GHz}$$
$$S_{cm} = 30.0 \times (n - 0.025)/f_{GHz}$$

/16 /

القياسات

Measurement

يحوي هذا الفصل علاقات ورسومات تتعلق بدارات الجسور، والشبكات الصفرية، وتقدير الأخطاء، واستيفاء للبيانات المقاسة.

دارات الجسور Bridge Circuits

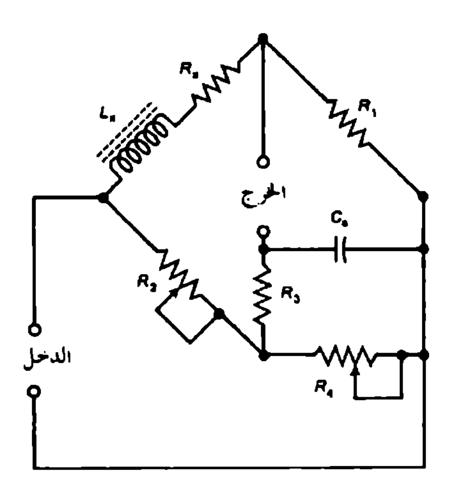
تستخدم دارات الجسور لقياس مقاومات، ورديات، وممانعات، وترددات مجهولة. يتم ضبط عنصر متغير في الجسر حتى يتحقق شرط التوازن (خرج صفري)، والذي يمكن عنده حساب القيمة المجهولة.

جسر أندرسن Anderson Bridge

لتكن L_x وR_x هما تحريضية (بالهنري) مجهولة ومقاومة (بالأوم) مجهولة موصولتان على التسلسل. ولنفرض أنهما موجودتان في تشكيلة جسر أندرسن، كما هو مبين في الشكل 16.1. يتم ضبط العناصر المتغيرة للحصول على التوازن. ولتكن C_s هي مكثفة قياسية دقيقة (بالفاراد). عند التوازن يكون لدينا:

$$L_x = C_s \times [R_3 \times (1 + R_2/R_4) + R_2]$$

$$R_x = R_1 \times R_2/R_4$$



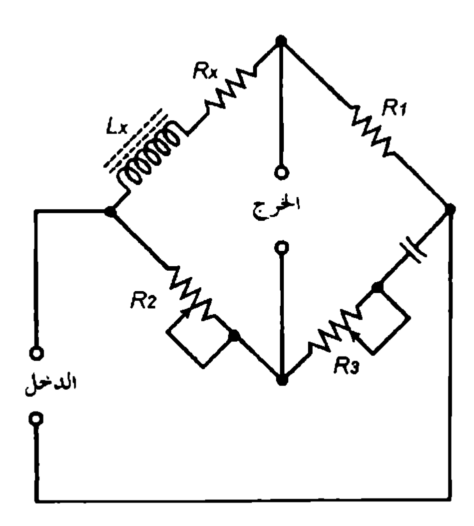
الشكل 16.1: جسر أندرسون المستخدم لتحديد قيمة تحريضية (L) ومقاومة (R) على التسلسل

جسر هاي Hay Bridge

لتكن L_x، R_x هما تحريضية مجهولة (بالهنري) ومقاومة (بالأوم) مجهولة موصولتان على التسلسل. بفرض أنهما موضوعتان في تشكيلة جسر هاي، كما هو مبين في الشكل 16.2. يتم ضبط العناصر المتغيرة للحصول على التوازن. ولتكن C_s هي مكثفة قياسية دقيقة (بالفاراد)، وليكن f هو التردد (بالهرتز). نحصل عند التوازن على العلاقات التالية:

$$L_x = C_s \times R_1 \times R_2$$

$$R_x = (4 \times \pi^2 \times f^2 \times C_s^2 \times R_1 \times R_2 \times R_3)/(1 + 4 \times \pi^2 \times f^2 \times C_s^2 \times R_3^2)$$



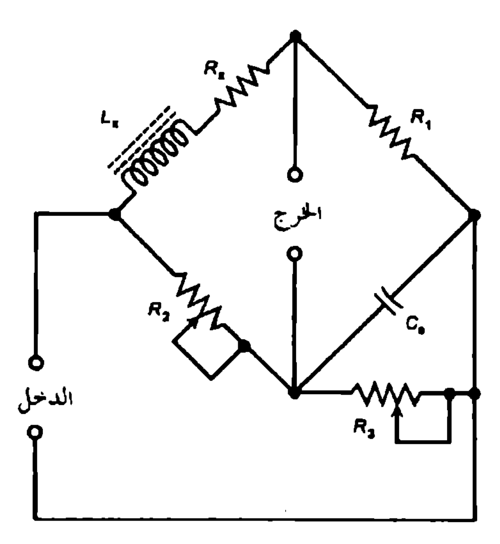
الشكل 16.2: جسر هاي المستخدم لتحديد قيمة تحريضية (L_x) ومقاومة (R_x) على التسلسل

جسر ماكسويل Maxwell Bridge

لتكن L_x وR_x هما تحريضية (بالهنري) ومقاومة (بالأوم) مجهولتان موصولتان على التسلسل. ولنفرض أنهما موجودتان في تشكيلة جسر ماكسويل، كما هو مبين في الشكل 16.3. يتم ضبط العناصر المتغيرة للحصول على التوازن. ولتكن C_s هي مكثفة قياسية دقيقة (بالفاراد). عند التوازن يكون لدينا:

$$L_x = C_s \times R_1 \times R_2$$

$$R_x = R_1 \times R_2 / R_3$$



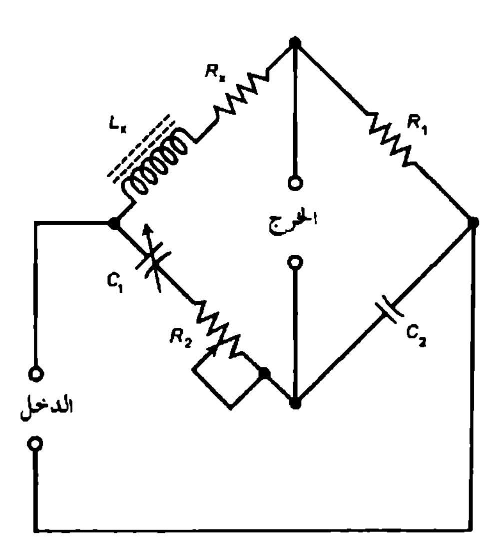
الشكل 16.3: جسر ماكسويل المستخدم لتحديد قيمة تحريضية (L) ومقاومة (R) على التسلسل

جسر أوين Owen Bridge

لتكن L_x و R_x هما تحريضية (بالهنري) ومقاومة (بالأوم) مجهولتان موصولتان على التسلسل. لنفرض أنهما موجودتان في تشكيلة جسر أوين، كما هو مبين في الشكل 16.4. يتم ضبط العناصر المتغيرة للحصول على التوازن. ولتكن C_s هي مكثفة قياسية دقيقة (بالفاراد). عند التوازن يكون لدينا:

$$L_x = C_2 \times R_1 \times R_2$$

$$R_x = R_1 \times C_2/C_1$$



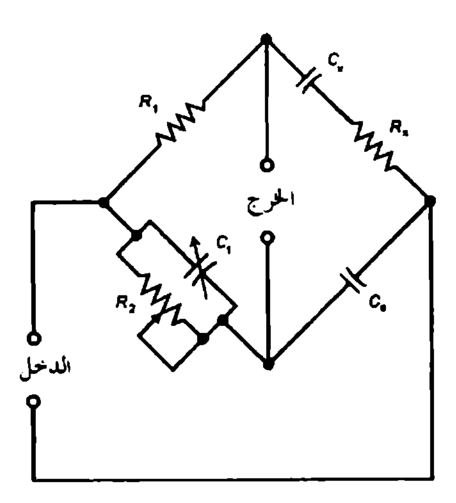
الشكل 16.4: جسر أوين المستخدم لتحديد قيمة تحريضية (L_x) ومقاومة (R_x) على التسلسل

جسر شيرنغ Schering Bridge

لتكن C_x وR_x هما مكثفة (بالفاراد) ومقاومة (بالأوم) مجهولتان موصولتان على التسلسل. لنفرض أنهما موجودتان في تشكيلة جسر شيرنغ، كما هو مبين في الشكل 16.5. يتم ضبط العناصر المتغيرة للحصول على التوازن. ولتكن C_s هي مكثفة قياسية دقيقة (بالفاراد). عند التوازن يكون لدينا:

$$C_x = C_s \times R_2 / R_1$$

$$R_x = R_1 \times C_1 / C_s$$



الشكل 16.5: جسر أوين المستخدم لتحديد قيمة مكثفة (C_x) ومقاومة (R_x) على التسلسل

جسر وتيستون Wheatstone Bridge

لتكن R_x هي مقاومة مجهولة (بالأوم). بفرض أنها موضوعة في تشكيلة جسر وتيستون، كما هو مبين في الشكل 16.6. يتم ضبط المقاومة المتغيرة R_2 حتى نحصل على التوازن. عندها تكون لدينا العلاقة التالية:

$$R_x = R_1 \times R_2 / R_3$$

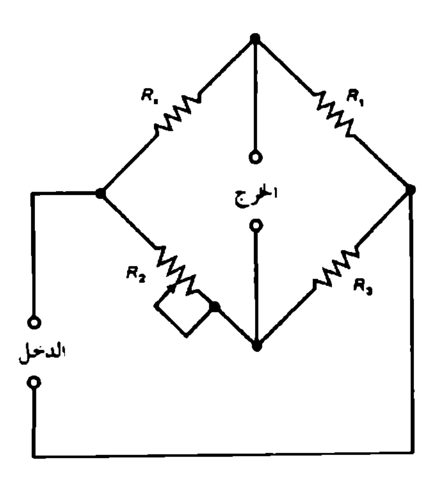
جسر وين Wien Bridge

لتكن المقاومات (بالأوم) والمكثفات (بالفاراد) الموجودة في جسر فين، كما هو مبين في الشكل 16.7، تحقق العلاقات التالية:

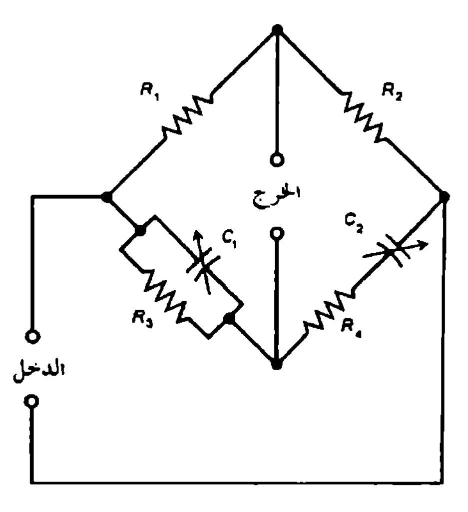
$$R_2 = 2 \times R_1$$

$$C_1 = C_2$$

$$R_3 = R_4$$



الشكل 16.6 : جسر وتيستون المستخدم لتحديد قيمة مقاومة (Rx)



الشكل 16.7: جسر وين المستخدم لقياس التردد

عندئذ يعطى تردد الدخل f (بالهرتز) الذي يعطي خرجاً صفرياً (حالة توازن) بالعلاقة التالية:

$$f = 1/(2 \times \pi \times R_3 \times C_1)$$

Null Networks الشبكات الصفرية

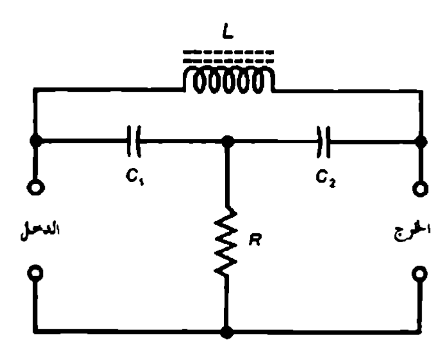
تعطي الشبكات الصفرية خرجاً صفرياً عند تردد محدد. ويمكن حساب هذا التردد بواسطة قيمة التحريضيات، والسعات، والمقاومات الموجودة في الدارة.

LC Bridged T بتشكيلة جسر LC T

بفرض أنه لدينا تحريضية L (بالهنري)، وسعتان C_1، C_2 (بالفاراد)، ومقاومة R (بالأوم)، وهي موصولة وفق دارة الشبكة المبينة في الشكل 16.8. لنفرض أن $C_1 = C_2$ بحيث تكون الشبكة متناظرة. عندئذ يعطى التردد الصفري f (بالهرتز) وفق إحدى العلاقتين التاليتين:

$$f = 1/[\pi \times (2 \times L \times C_1)^{1/2}]$$

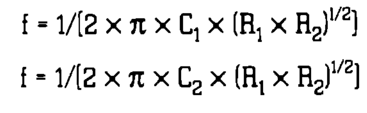
$$f = 1/[\pi \times (2 \times L \times C_2)^{1/2}]$$



الشكل 16.8: شبكة LC صفرية وفق تشكيلة جسر T

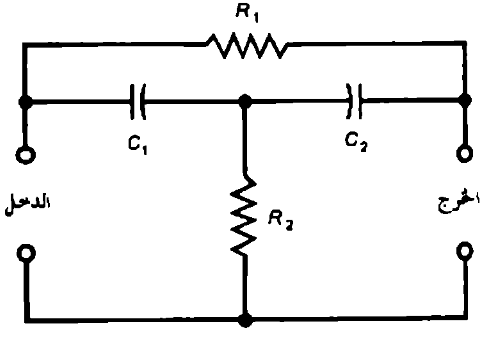
RC بتشكيلة جسر T — RC Bridged T

بفرض أن لدينا السعتين C_1، C_2 (بالفاراد)، والمقاومتين R_1، R_2 (بالأوم)، والموصولة وفق دارة الشبكة المبينة في الشكل 16.9. وبفرض أن $C_1 = C_2$ بحيث تكون الشبكة متناظرة. عندئذ يعطى التردد الصفري f (بالهرتز) وفق إحدى العلاقتين التاليتين:



$$f = 1/[2 \times \pi \times C_1 \times (R_1 \times R_2)^{1/2}]$$

$$f = 1/[2 \times \pi \times C_2 \times (R_1 \times R_2)^{1/2}]$$



الشكل 16.9 : شبكة RC صفرية وفق تشكيلة جسر T.

RC بتشكيلة جسر T متوازي — RC Parallel T

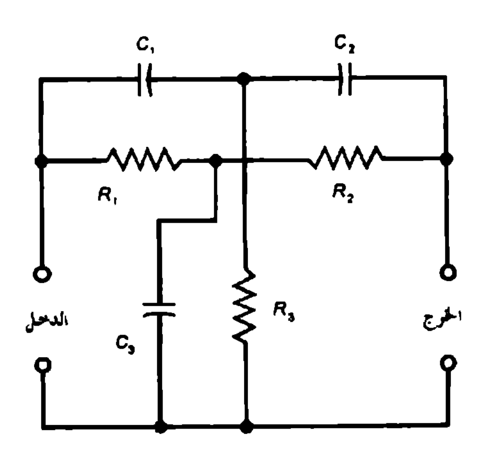
بفرض أن لدينا السعات C_1, C_2, C_3 (بالفاراد)، والمقاومات R_1, R_2, R_3 (بالأوم)، والموصولة معاً وفق دارة الشبكة المبينة في الشكل 16.10. لنفرض تحقق العلاقات التالية:

$$C_3 = 2 \times C_1 = 2 \times C_2$$

$$R_1 = R_2 = 2 \times R_3$$

عندئذ يعطى التردد الصفري f (بالهرتز) بالعلاقة التالية:

$$f = 1/(2 \times \pi \times R_1 \times C_1)$$



الشكل 16.10: شبكة RC صفرية وفق تشكيلة جسر T متوازي

الخطأ والاستيفاء Error and Interpolation

خطأ القياس Measurement Error

لتكن x_a هي القيمة الفعلية للمقدار المقاس. ولتكن x_m هي القيمة المقاسة لهذا المقدار، ووفق نفس واحدة x_a. عندئذ يعطى الخطأ المطلق (Absolute Error) D_a (وفق نفس واحدة x_a) بالعلاقة التالية:

$$D_a = x_m - x_a$$

فيما يعطى الخطأ النسبي (Proportional Error) بالعلاقة التالية:

$$D_p = (x_m - x_a)/x_a$$

كما تعطى النسبة المئوية للخطأ D% (Percentage Error) بالعلاقة التالية:

$$D_{\%} = 100 \times (x_m - x_a)/x_a$$

الاستيفاء الحسابي Arithmetic Interpolation

ليكن $y = f(x)$ هو تابع، حيث قيمة المقدار (y) تتعلق بقيمة متحول مستقل (x). ولتكن y_1 و y_2 هما قيمتي هذا التابع حيث:

$$y_1 = f(x_1)$$

$$y_2 = f(x_2)$$

عندئذ، يمكن تقدير قيمة y_a للتابع في النقطة x_m (منتصف المسافة بين x_1 و x_2) وفق الاستيفاء الحسابي كما يلي:

$$y_a = (y_1 + y_2)/2 = [f(x_1) + f(x_2)]/2$$

الاستيفاء الهندسي Geometric Interpolation

ليكن $y = f(x)$ هو تابع حيث قيمة المقدار (y) تتعلق بقيمة المتحول المستقل (x). لتكن y_1 و y_2 هما قيمتا هذا التابع حيث:

$$y_1 = f(x_1)$$

$$y_2 = f(x_2)$$

عندئذ، يمكن تقدير قيمة y_g للتابع في النقطة x_m (منتصف المسافة بين x_1، وx_2) وفق الاستيفاء الهندسي كما يلي:

$$y_g = (y_1 \times y_2)^{1/2} = [f(x_1) \times f(x_2)]^{1/2}$$

/17/

المقاومات والمكثفات

Resistors and Capacitors

المقاومات Resistors

تعاريف Definitions

المقاومة هي عنصر كهربائي غير فعال يستخدم بكثرة في الدارات الإلكترونية للتحكم بالتيار والجهد. تتميز المقاومة بالمواصفات التالية:

- قيمة المقاومة التي تقاس بواحدة الأوم (Ω)
- الاستطاعة، وهي الاستطاعة العظمى التي تبددها المقاومة (يدل حجم المقاومة على استطاعتها)
- الدقة، وهي نسبة مئوية تحدد الانحراف الأعظمي عن القيمة الاسمية
- المعامل الحراري، يمثل تغير قيمة المقاومة بتغير درجة الحرارة

تتأثر قيمة المقاومة بالعوامل التالية:

1. اللحام ±2%
2. الاهتزاز (2g) ±2 %
3. الرطوبة (95%) ±6 %

4. الحرارة [-15,25] ±2.5 %

5. الحرارة [25,85] ±3.3 %

يرمز للمقاومة في الدارات الإلكترونية بالشكل التالي:



تصنع المقاومات وفق قيم قياسية مبينة في الجدول 17.1

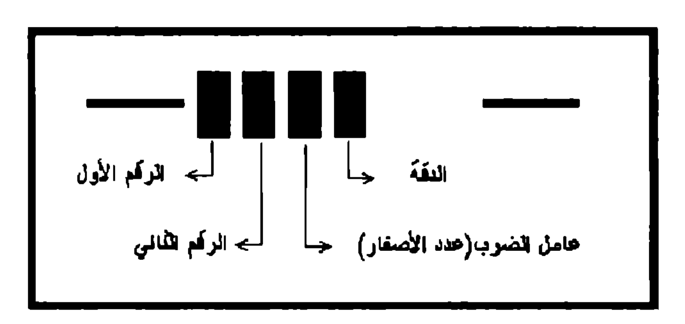
الجدول 17.1 : القيم القياسية للمقاومات ذات الارتياب 5%

MΩ	MΩ	kΩ	kΩ	kΩ	Ω	Ω	Ω
10	1.0	100	10	1.0	100	10	1.0
	1.1	110	11	1.1	110	11	1.1
	1.2	120	12	1.2	120	12	1.2
	1.3	130	13	1.3	130	13	1.3
	1.5	150	15	1.5	150	15	1.5
	1.6	160	16	1.6	160	16	1.6
	1.8	180	18	1.8	180	18	1.8
	2.0	200	20	2.0	200	20	2.0
	2.2	220	22	2.2	220	22	2.2
	2.4	240	24	2.4	240	24	2.4
	2.7	270	27	2.7	270	27	2.7
	3.0	300	30	3.0	300	30	3.0
	3.3	330	33	3.3	330	33	3.3
	3.6	360	36	3.6	360	36	3.6
	3.9	390	39	3.9	390	39	3.9
	4.3	430	43	4.3	430	43	4.3
	4.7	470	47	4.7	470	47	4.7
	5.1	510	51	5.1	510	51	5.1
	5.6	560	56	5.6	560	56	5.6

MΩ	MΩ	kΩ	kΩ	kΩ	Ω	Ω	Ω
	6.2	620	62	6.2	620	62	6.2
	6.8	680	68	6.8	680	68	6.8
	7.5	750	75	7.5	750	75	7.5
	8.2	820	82	8.2	820	82	8.2
	9.1	910	91	9.1	910	91	9.1

الرموز اللونية للمقاومات Resistros Color codes

تستخدم طريقة الترميز اللوني للدلالة على قيمة المقاومة ودقتها. تتوضع على المقاومات حلقات لونية يمكن من خلالها معرفة قيمة ودقة المقاومة كما هو مبين في الشكل 17.1.



الشكل 17.1 : الترميز اللوني للمقاومات

يبين الجدول 17.2 الرموز اللونية القياسية المستخدمة لمعرفة قيمة المقاومة، بينما يبين الجدول 17.3 الرموز اللونية القياسية المستخدمة لمعرفة دقة المقاومة.

الجدول 17.2 : الرموز اللونية لقيم المقاومات

اللون	عامل الضرب	الرقم
فضي	0.01	–
ذهبي	0.1	–
أسود	1	0
بني	10	1
أحمر	1 00	2
برتقالي	1 K	3
أصفر	10 K	4
أخضر	100 K	5
أزرق	1 M	6
بنفسجي	10 M	7
رمادي	–	8
أبيض	–	9

الجدول 17.3 : الرموز اللونية لدقة المقاومات

اللون	الارتياب (Tolerance)
بني	1 %
أحمر	2 %
ذهبي	5 %
فضي	10 %
لا يوجد	20 %

لنأخذ بعض الأمثلة عن ذلك:

ذهبي	برتقالي	أصفر	أحمر	5%	24 kΩ
أحمر	أزرق	أسود	بني	2%	10 MΩ
فضي	أحمر	أصفر	برتقالي	10%	3.4 kΩ
ذهبي	بنفسجي	أحمر	أصفر	5%	470 kΩ
x	أحمر	أزرق	أخضر	20%	5.6 kΩ

مقاومة سلك Resistance of Wire

بفرض لدينا سلك ناقل من مادة معينة طوله L، ومساحة مقطعه S. عندئذ تعطى مقاومة هذا السلك بالعلاقة:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

حيث ρ هي المقاومة النوعية لمادة السلك، وهي تختلف تبعاً لنوع المادة. يبين الجدول 17.4 المقاومة النوعية لبعض المواد الناقلة.

الجدول 17.4 المقاومات النوعية لبعض المواد

المادة	المقاومة النوعية (10^{-8} Ω . m)
ألمنيوم	2.65
كربون	3500
كونستانتن (60% Cu & 40%Ni)	52.5
نحاس	1.678
جيرمانيوم	46 × 10[illegible]
ذهب	2.24

المادة	المقاومة النوعية (10^{-8} Ω . m)
حديد	9.71
رصاص	22
منغنيز	185
نيكل	6.8
بلاتينيوم	10.42
بلاتينيوم +10% راديوم	18.2
سيليكون	28-300 (حسب درجة النقاوة)
فضة	1.6
صوديوم	4.75
ستانلس ستيل	70-122
تانتاليوم	12.45
تنغستن	5.6
زنك	5.9
زئبق	96

أنواع المقاومات Resistor Types

هناك أنواع عديدة للمقاومات نذكر منها:

- **مقاومة ذات مركب كربوني:**

تتميز هذه النوعية بأنها ذات كلفة منخفضة، وذات ارتياب ومعامل حراري منخفضين، لكنها ذات استقرار سيء على المدى البعيد. تتوفر هذه النوعية باستطاعات 0.125W، 1W، وبقيم من 2.2Ω حتى 1MΩ. إنها ذات دقة نموذجية ±10%، ومعامل حراري 1200 p.p.m/°C. تناسب هذه المقاومات الاستخدامات العامة (مثلاً مضخمات الإشارة الضخمة ومنابع التغذية).

- **مقاومة ذات طبقة كربونية دقيقة:**

وهي ذات استقرار أفضل من النوعية السابقة. وتتوفر باستطاعات 0.25W، 0.5W، 1W، 2W. تصنع بقيم من 10Ω حتى 10MΩ. ذات دقة ±5%، ومعامل حراري 250 p.p.m/°C-. تناسب هذه النوعية التطبيقات العامة بما فيها مقاومات التحييز، والحمل، والجذب.

- **مقاومة ذات طبقة معدنية رقيقة:**

تتميز هذه النوعية بدقة واستقرار مرتفعين، ومعامل حراري بمنخفض. تصنع هذه المقاومات باستطاعات 0.125W، 0.25W، 0.5W. تتوفر بقيم من 10Ω حتى 1MΩ (تتوفر أيضاً بقيم من رتبة 0.22Ω). دقة هذه المقاومات النموذجية هي ±1%، (±10% للقيم من دون 1Ω) ومعاملها الحراري [50-100] p.p.m/°C. تعد هذه المقاومات نموذجية في تطبيقات دارات الضجيج المنخفض، ومثالية كمقاومة حمل أو تحييز في دارات تضخيم الإشارات الصغيرة.

- **مقاومة أكسيد معدني:**

تتميز هذه النوعية بأنها ذات استقرار ووثوقية مرتفعتين، وذات ضجيج منخفض جداً. تتوفر باستطاعة 0.5W وبقيم من 10Ω حتى 1MΩ، نموذجيا. ذات دقة ±2% ومعامل حراري 250 p.p.m/°C. تستخدم في التطبيقات العامة، وتعد مثالية في دارات مضخمات الضجيج المنخفض ودارات الإشارات الصغيرة. تتوفر هذه النوعية وفق نماذج مصغرة للدارات المطبوعة.

- **مقاومة ذات سلك ملفوف حول نواة سيراميكية:**

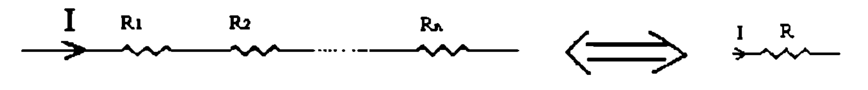
تتميز هذه النوعية بأنها ذات تبديد حراري مرتفع، لذلك تستخدم في وحدات التغذية. تتوفر باستطاعات 4W، 7W، 11W، 17W. وتصنع بقيم من 0.42Ω حتى 22kΩ، وبدقة ±5%. تبدي هذه النوعية أثراً تحريضيا، وهذا ما يحد من استخداماتها في تطبيقات الترددات المرتفعة.

- المقاومات المتغيرة:

تصنع من مركب كربوني أو من سلك معدني ملفوف حول نواة عازلة. وهي ذات ذراع متحركة انسحابية أو دورانية. وتتوفر إما بثلاث أرجل (potentiometer) أو رجلين فقط (rheostat).

وصل المقاومات على التسلسل Resistors in series

نقول عن مقاومتين (أو أكثر) أنهما موصولتان على التسلسل إذا كان نفس التيار يمر فيهما، كما هو مبين في الشكل 17.2.



الشكل 17.2: المقاومات الموصولة على التسلسل

تعطى المقاومة المكافئة (R) لعدة مقاومات موصولة على التسلسل ($R_1, R_2, \ldots, R_n$) بالعلاقة:

$$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$$

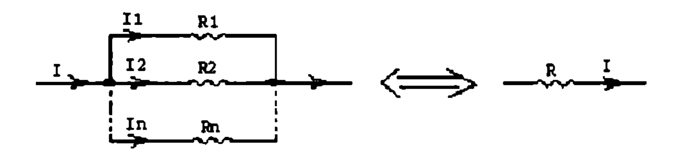
يؤدي وصل عدة مقاومات على التسلسل إلى تكبير المقاومة الكلية المكافئة.

وصل المقاومات على التفرع Resistors in parallel

نقول عن مقاومتين (أو أكثر) أنهما موصولتان على التفرع إذا كان نفس الجهد يهبط عليهما، كما هو مبين في الشكل 17.3.

تعطى المقاومة المكافئة (R) لعدة مقاومات موصولة على التفرع (R_1، R_2، ....، R_n) بالعلاقة:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$



الشكل 17.3: القاومات الموصولة على التفرع

يعطي وصل عدة مقاومات على التفرع مقاومة مكافئة قيمتها أقل من أصغر مقاومة من المقاومات.

حالة خاصة: وصل مقاومتين على التفرع:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}} = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

قواعد عامة:

1. تسيطر المقاومة الكبيرة في حالة الوصل على التسلسل
2. تسيطر المقاومة الصغيرة في حالة الوصل على التفرع
3. وصل N مقاومة متساوية على التفرع يعطي مقاومة مكافئة قدرها:

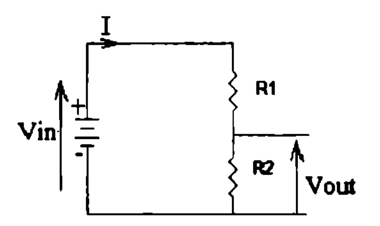
$$\frac{\text{(قيمة مقاومة واحدة)}}{N}$$

4. وصل N مقاومة متساوية على التسلسل يعطي مقاومته مكافئة قدرها:

(قيمة مقاومة واحدة) × N

Voltage divider مجزئ الجهد

لتكن لدينا دارة مجزئ الجهد المبينة في الشكل 17.4.



الشكل 17.4: دارة مجزئ الجهد

عندئذ يعطى جهد الخرج بدلالة جهد الدخل بالعلاقة التالية:

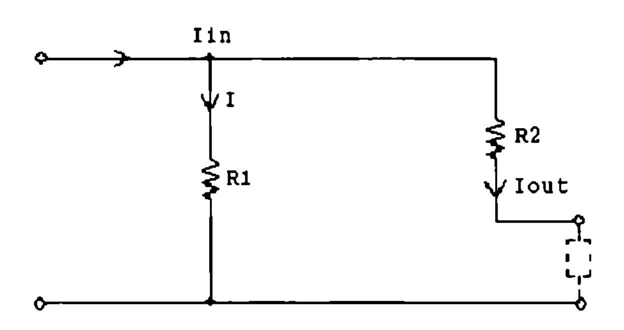
$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

يمكننا إذاً تحديد جهد الخرج تبعاً لجهد الدخل ولقيمة المقاومتين R_1، R_2.
لاحظ أنه لدينا عدد لا نهائي من قيم المقاومات التي تعطي نفس جهد الخرج بدلالة جهد الدخل.

إذاً جهد الخرج في مجزئ الجهد أصغر من جهد الدخل دوماً.

Current Divider مجزئ التيار

لتكن لدينا دارة مجزئ التيار المبينة في الشكل 17.5.



الشكل 17.5: دارة مجزئ التيار

عندئذ يعطى تيار الخرج بدلالة تيار الدخل بالعلاقة التالية:

$$I_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_{in}$$

يمكننا إذاً تحديد تيار الخرج تبعاً لتيار الدخل ولقيمة المقاومتين R_1،R_2. لاحظ أنه لدينا عدد لا نهائي من قيم المقاومات التي تعطي نفس تيار الخرج بدلالة تيار الدخل.

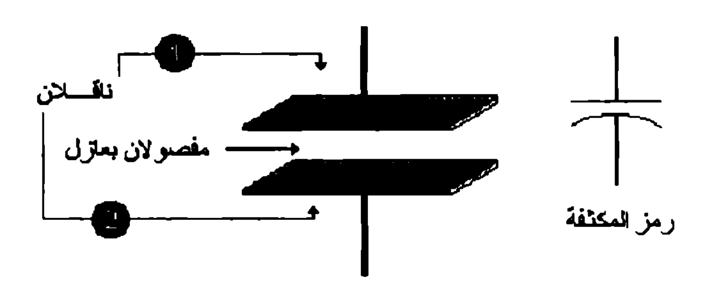
إذاً يكون تيار الخرج أصغر من تيار الدخل ويتعلق بقيمة المقاومتين R_1،R_2 وبمقاومة الحمل.

المكثفات Capacitors

تعاريف Definitions

المكثفة هي عنصر إلكتروني غير فعال يستخدم في معظم الدارات الإلكترونية. تصنع المكثفة من عدة مواد وبأشكال وحجوم ومواصفات مختلفة.

المكثفة هي عبارة عن صفيحتين ناقلتين (لبوسين) تفصل بينهما مادة عازلة (الشكل 17.6).



الشكل 17.6 : بنية المكثفة ورمزها الكهربائي

تتميز المكثفة بقيمة سعتها التي تقاس بواحدة الفاراد، وبالجهد الأعظمي الذي يمكن تطبيقه عليها. الفاراد هي قيمة كبيرة وغير عملية، لذلك نستخدم عادة واحدات ميكرو فاراد (µF)، نانو فاراد (nF)، بيكو فاراد (pF).

تمثل المكثفة عنصر تخزين الشحنة الكهربائية والطاقة. قد تحتفظ المكثفة بشحنتها لفترة طويلة (عدة ثوان،.....، عدة ساعات أو أيام). نسمي جهد الانهيار (Break-Down Voltage) الجهد الذي ينهار عنده العازل الفاصل بين الصفيحتين.

تصنع المكثفات وفق قيم عيارية مبينة في الجدول 17.5.

الجدول 17.5 : قيم سعات المكثفات القياسية

µF	µF	µF	µF	pF
1000	10	0.1	0.001	10
			0.0012	12
			0.0013	13
	15	0.15	0.0015	15
			0.0018	18

µF	µF	µF	µF	pF
			0.002	20
2200	22	0.22	0.0022	22
				24
				27
				30
3300	33	0.33	0.0033	33
				36
				43
4700	47	0.47	0.0047	47
				51
				56
				62
6800	68	0.68	0.0068	68
				82
10.000	100	1.0	0.01	100
				110
				120
				130
		1.5	0.015	150
				180
				200
22.000	220	2.2	0.022	220
				240
				270
				300
	330	3.3	0.033	330
				360
				390
				430
47.00	470	4.7	0.047	470
				510
				560
				620
		6.8	0.068	680
				750
82.000				820
				910

Basic Formulas — علاقات أساسية

يؤدي تطبيق جهد V فولت على مكثفة سعتها C فاراد إلى تخزين شحنة قدرها Q^+ كولون على إحدى الصفيحتين، وشحنة قدرها Q^- كولون على الصفيحة الأخرى. وتعطى قيمة Q بالعلاقة:

$$Q = C \times V$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = C\frac{dV}{dt}$$

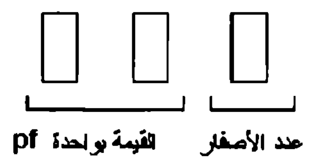
بالتالي لا تمرر المكثفة التيار المستمر، لذلك فهي تستخدم لترشيح التيارات المستمرة.

تعطى الطاقة المختزنة في المكثفة بالعلاقة:

$$W = 1/2\ C.V^2$$

Capacitor value — قراءة قيمة المكثفة

بالنسبة للمكثفات الكبيرة والكيماوية، تكتب عليها القيمة بوضوح، مثلاً 470 µF, 25V. أما المكثفات الصغيرة فيكتب عليها ثلاثة أرقام:



- يكتب الجهد الأعظمي بوضوح
- قد يضاف حرف بعد الأرقام الثلاثة للدلالة على الدقة (انظر الجدول 17.6)

الجدول 17.6: ترميز قيمة الكثفة

عدد الأصفار	عامل الضرب	الحرف	الدقة
0	1	D	0.5 PF
1	10	F	1%
2	100	G	2%
3	1000	H	3%
4	10^4	J	5%
5	10^5	K	10%
6,7	-	M	20%
8	0.01	-	-
9	0.1	-	-

لاحظ أنه توجد مكثفات تكتب عليها القيمة 0.1، 0.01 بواحدة μF

لنأخذ بعض الأمثلة:

$104 = 10PFx10^4 = 10x10^{-12}x10^4\ F = 0.1\mu F$

$101 = 10PFx10 = 100PF$

$100 = 10PF$

$105 = 10PFx10^5 = 10^{-6}\ F = 1\mu F$

$474J = 47 \times 10^4\ PF = (5\%)\ 470\ nF$

أنواع المكثفات Capacitor types

تتعلق سعة المكثفة بكل مما يلي:

- مساحة اللبوسين (تناسب طردي)

- المسافة بين اللبوسين (تناسب عكسي)
- نوعية المادة العازلة (تزداد بزيادة ثابت عزل المادة. انظر الجدول 17.7).

الجدول 17.7 : ثابت العازلية لبعض المواد

المادة	ثابت العزل
الورق	3.00
بلكس غلاس	2.80
بولي إثيلين	2.30
بولي استيرين	2.60
بورسلان	5.57
بيركس	4.80
كوارتز	3.80
الهواء	1.00
بيكاليت	4.90
سيليلوز	3.70
فيبر	6.00
النايلون	3.5 - 5.4
فورميكا	4.75
زجاج	7.75
ميكا	5.40
تفلون	2.10
الماء	78
الأنسجة (الجلد، الدم، العضلات)	97
الأنسجة (العظام، الدهون)	15

أنواع المكثفات Capacitor Types

هناك عدة أنواع من المكثفات، سنذكر فيما يلي أكثرها شهرةً، وهي:

1. المكثفات الكيماوية (Electrolytic):

- مصنوعة من كهروليت (ملح ناقل ضمن محلوله) وأقطاب ألمنيوم، وهي ذات قطبية
- تطبيقاتها: مرشحات، دارات زمنية
- رخيصة، متوفرة بكثرة وبقيم كبيرة جداً
- غير دقيقة، غير مناسبة لدارات الترددات المرتفعة
- تنفجر في حال تجاوز جهد الانهيار، أو عكس القطبية!
- قاعدة: تستخدم مكثفة بضعف جهد العمل (جهد العمل 12، مكثفة 25)

2. مكثفات Tantalium:

- أفضل من النوع الكيماوي، ذات قطبية، تستخدم في الدارات التشابهية
- مواصفات حرارية وترددية ممتازة
- صغيرة الحجم، موثوقة، متوفرة بأغلب القيم
- غالية، تنهار بسهولة بواسطة تغيرات الجهد الكبيرة والسريعة (Spikes)

3. المكثفات الضخمة:

- مكثفات كبيرة بسعة 0.47F وبحجوم صغيرة (قطر 21mm، ارتفاع 4mm)
- ذات قطبية (تنفجر)

4. مكثفات Epoxy:

- مستقرة، رخيصة، متوفرة بكثرة
- قد تكون كبيرة الحجم، حسب السعة والجهد (قد لا تناسب جميع التطبيقات)

5. مكثفات سيراميكية (Ceramic):

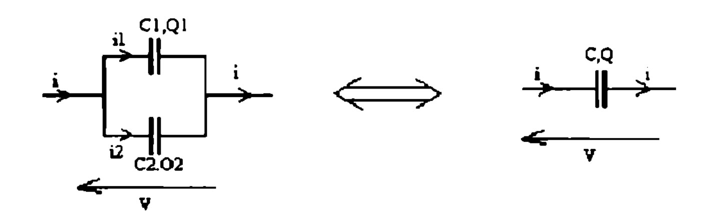
- العازل هو مادة سيراميكية
- تناسب تطبيقات الترددات المرتفعة (ترشيح الترددات المرتفعة)
- النوع الأكثر استخداماً بالإضافة إلى النوع الكيماوي
- حجم صغير، سعة صغيرة، رخيصة، موثوقة
- غير مستقرة حرارياً (النوع NPO مستقر حرارياً)

6. مكثفات Multilyer Ceramic:

- العازل مصنوع من عدة طبقات
- حجوم صغيرة، مستقرة حرارياً وترددياً
- تستخدم في تطبيقات ترشيح الترددات المرتفعة
- تعاني من مشكلة التجاوب في المجال VHF (مثال CK05 0.1MF/50V ذات تردد تجاوب 30MHz)

وصل المكثفات على التفرع Capacitors in parallel

سعة عدة مكثفات موصولة على التفرع تساوي مجموع سعاتها المنفردة:



الشكل 17.7: وصل المكثفات على التفرع

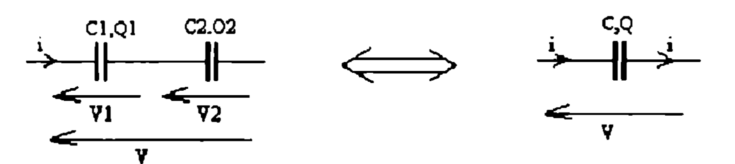
$$Q = Q1 + Q2$$
$$= C1V + C2V$$
$$= (C1 + C2)\ V$$
$$= C\ .\ V$$

تعطى المكثفة المكافئة (C) لعدة مكثفات ($C_1, C_2, \dots, C_n$) موصولة على التفرع بالعلاقة التالية:

$$C = \sum_{i}^{n} Ci$$

وصل المكثفات على التسلسل Capacitors in series

تساوي سعة عدة مكثفات موصولة على التسلسل إلى مجموع مقلوب السعات:



الشكل 17.8: وصل المكثفات على التسلسل

$$V = V1 + V2$$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q1}{C1} + \frac{Q2}{C2}$$

$I = \frac{dQ}{dt}$ يمر نفس التيار في المكثفين أي $Q = Q1 = Q2$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} \Rightarrow C = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2}$$

تعطى المكثفة المكافئة (C) لعدة مكثفات $(C_1, C_2, \dots, C_n)$ موصولة على التسلسل بالعلاقة التالية:

$$C = \frac{1}{\sum_{1}^{n} \frac{1}{Ci}}$$

/18/

المضخمات والتغذية العكسية

Amplifiers and Feedback

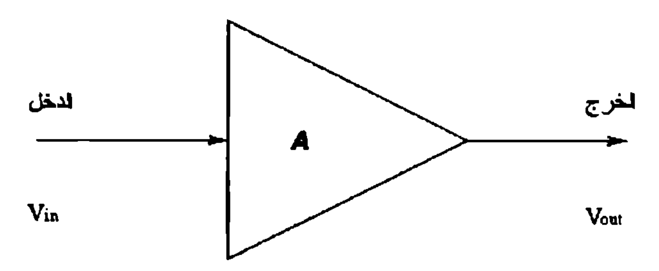
ما هو المضخم؟ What is an Amplifier?

هو عبارة عن نظام يقوم بتكبير إشارة الدخل (Vin) وفق نسبة ثابتة (A) لإعطاء إشارة الخرج (Vout). أي يكون الخرج نسخة مضخمة ومماثلة من حيث المواصفات لإشارة الدخل.

إذاً يتحدد التضخيم بواسطة الربح A. رياضياً نكتب:

$$V_{out} = A\,V_{in}$$

يمكن توصيف العلاقة بين دخل وخرج المضخم على شكل مخطط رسومي مبين في الشكل 18.1.



الشكل 18.1 : تمثيل المضخم

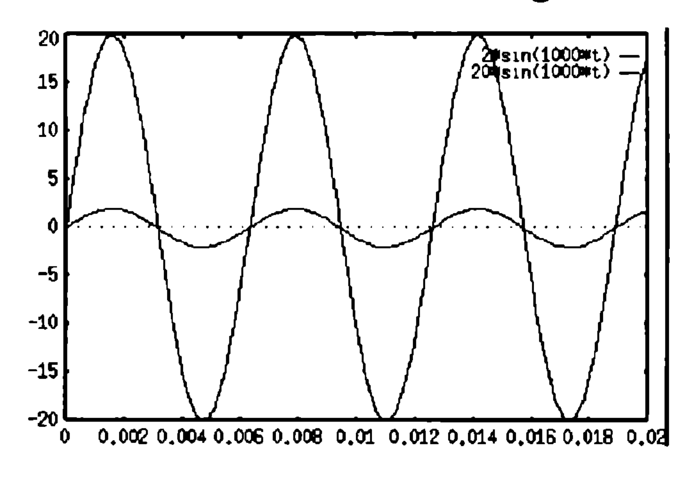
مثلاً بفرض A = 10، وإشارة الدخل هي من الشكل:

$$V_{in} = 2\sin(1000t)$$

إنها إشارة ذات مطال 2V وتردد ω = 1000 راديان/ثانية. عندئذ تكون إشارة الخرج من الشكل:

$$V_{out} = 20\sin(1000t)$$

وهي ذات مطال 20V وتردد ω = 1000 راديان/ثانية. يبين الشكل 18.2 إشارتي الدخل والخرج.



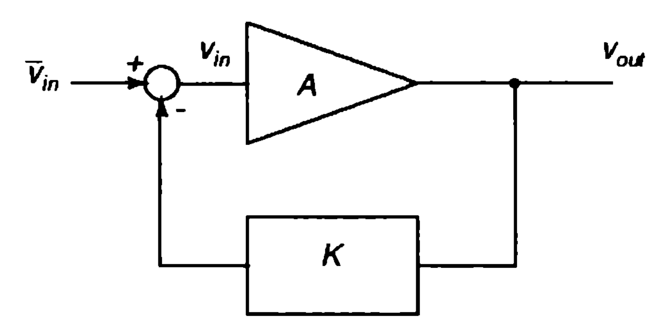
الشكل 18.2: إشارتا دخل وخرج الضخم

التغذية العكسية Feedback

التغذية العكسية هي عملية تطبيق الخرج، بطريقة ما، على الدخل. مثلاً في نظام التضخيم الصوتي، تتحقق التغذية العكسية عند وضع ميكرفون مقابل مكبر

الصوت (speaker). إنها حالة تغذية عكسية موجبة (positive feedback). في هذه الحالة يرتفع الصوت بشكل غير متحكم به (قد نسمع تأثيرات صوتية سيئة). تتم هنا إضافة الخرج إلى الدخل وتضخيمه من جديد، .. وهكذا. إنه مثال عن نظام غير مستقر.

أما التغذية العكسية السالبة (negative feedback) فهي تعني طرح الخرج من الدخل. هذه العملية مبينة في الشكل 18.3.



الشكل 18.3: التغذية العكسية السالبة

من الشكل السابق لدينا:

$$V_{in} = \bar{V}_{in} - K \times V_{out}$$
$$V_{out} = A \times V_{in}$$

$-K \times V_{out}$ هو حد التغذية العكسية السالبة ($K \geq 0$).

خذ كمثال عن ذلك حالة التحكم بسرعة السيارة. إذا بدأت السيارة بتجاوز السرعة المرغوبة (المحددة) تقوم التغذية العكسية السالبة بإغلاق فتحة

تدفق الوقود، وبالتالي تخفيض سرعة السيارة. بشكل مماثل، إذا انخفضت سرعة السيارة عن السرعة المرغوبة (المحددة) تعمل التغذية العكسية السالبة على فتح فتحة تدفق الوقود، وبالتالي زيادة سرعة السيارة.

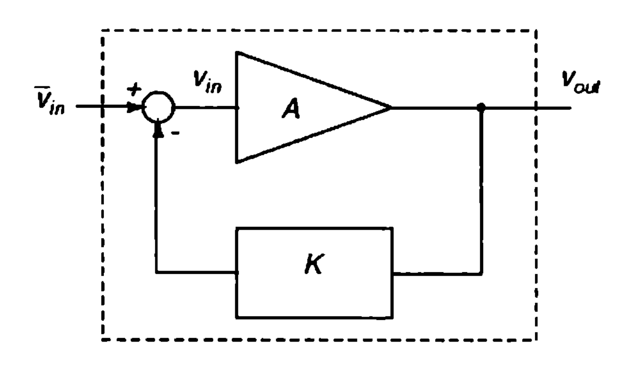
تحليل التغذية العكسية السالبة

Analysis of negative feedback

تمثل تشكيلة التغذية العكسية السابقة مضخماً جديداً، ذا دخل V_{in} وخرج V_{out} وربح جديد A_k يتعلق بالمتحول K في ممر التغذية العكسية:

$$V_{out} = A_k \overline{V}in$$

نبين هذه العملية بوضوح في الشكل 18.4.



الشكل 18.4: مضخم التغذية العكسية السالبة

لنحسب A_k. لدينا العلاقة:

$$V_{out} = A\ \overline{V}in - AK\ V_{out}$$

ومنه نجد:

$$V_{out} = \frac{A}{1+AK}\overline{V}_{in}$$

وبالتالي يكون الربح الجديد:

$$A_k = \frac{A}{1+AK}$$

لاحظ أن الربح الجديد يتعلق ببارامیترت التغذية العكسية السالبة K.

الميزة الهامة في هذه العلاقة هي أنه عندما يكون الربح A كبيراً جداً ($A \approx \infty$)، عندها يكون A_K تقريباً مستقلاً عن A. أي:

$$A_k = \frac{1}{\frac{1}{A}+k} \approx \frac{1}{k}$$

مثلاً، من أجل $A = 10000$ و $k = 0.1$، عندها يكون $A_k \approx 9.9995 \approx 10 = 1/k$

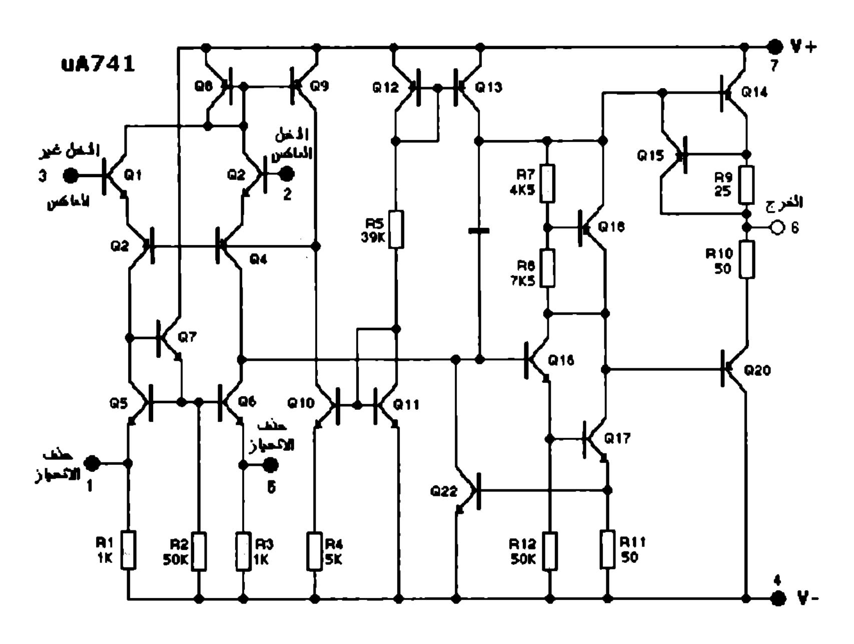
هذا مهم في مضخمات العمليات والمضخمات الترانزستورية، وذلك لأنه لا يمكن تحديد الربح بدقة بسبب التغيرات في قيم المكونات. في الواقع، يتغير الربح بشكل ملموس. تقدم التغذية العكسية الحل، حيث يستطيع المصمم الحصول على ربح دقيق وثابت. وهذا ناتج عن تخفيض الحساسية لتغيرات بارامیترات المكونات والعناصر.

تحليل دارة مضخم العملياتي Opamp Circuit Analysis

مضخمات العملياتي Opamps

يعد مضخم العملياتي عنصراً إلكترونياً شائع الاستخدام. يستخدم المضخم في تصميم العديد من الدارات الإلكترونية المفيدة، كما أنه يوفر الوقت لأنه يغني عن تصميم المضخمات الترانزستورية.

يعد المضخم 741 المضخم القياسي المتوفر في تشكيلة دارة متكاملة. ويبين الشكل 18.5 المخطط التفصيلي الداخلي لدارة مضخم العملياتي 741.



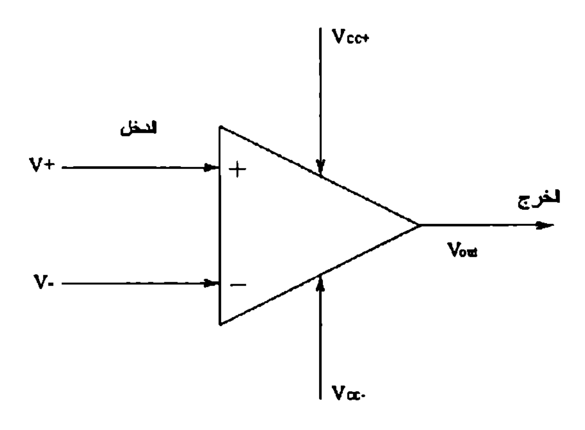
الشكل 18.5: دارة المضخم العملياتي 741

يبين الجدول 18.1 نقاط التوصيل الخارجية (الأرجل) الخاصة بالمضخم 741.

الجدول 18.1 : أرجل المضخم العملياتي 741

رقم الرجل	الوظيفة
1	حذف الانحياز
2	الدخل العاكس (-V)
3	الدخل غير العاكس (+V)
4	التغذية السالبة (-Vcc)
5	حذف الانحياز
6	الخرج (Vout)
7	التغذية الموجبة (+Vcc)
8	غير مستخدم

يبين الشكل 18.6 رمز مضخم العملياتي موضحة عليه أرجل الدخل، والخرج، والتغذية.



الشكل 18.6 : المضخم العملياتي

يقوم مضخم العمليات بتكبير الدخل التفاضلي $V_{in} = V_+ - V_-$ بحيث:

$$V_{out} = A\,(V_+ - V_-)$$

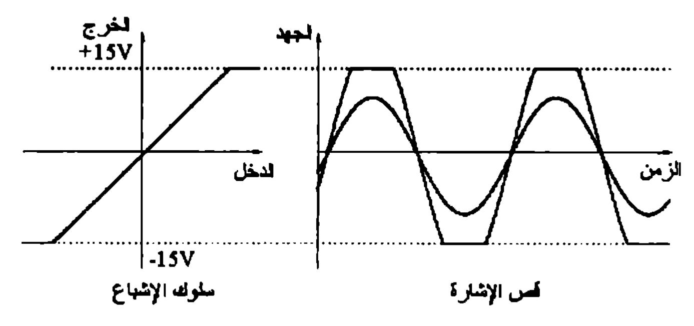
يكون A عادةً كبيراً جداً، ومن رتبة $10^4 - 10^6$

يستجر مضخم العملياتي الطاقة من الأرجل V_{cc+}، V_{cc-} (مثلاً $V_{cc+} = +15v$، $V_{cc-} = -15v$) حيث تقاس جميع الجهود بالنسبة لنقطة الأرضي المشتركة. عندما يكون $V_+ = V_-$ يكون لدينا $V_{out} = 0$. إذا كان $V_{cc+} = 10v$، $V_{cc-} = 0v$، $V_+ = V_-$ عندها نحصل على $V_{out} = +5v$.

عادةً، لا يتم رسم توصيلات التغذية في مضخم العملياتي في المخططات الإلكترونية، حيث تعتبر التغذية موجودة بشكل افتراضي.

الإشباع Saturation

لا يستطيع جهد الخرج تجاوز المجال المحدد بمنبع التغذية. لذلك إذا كان جهد الدخل يؤدي إلى جعل الخرج يتجاوز هذا المجال، نحصل عندها على ما يسمى بالإشباع. يبين الشكل 18.7 هذه الحالة، حيث نلاحظ أنه تم قص إشارة الخرج عندما تجاوزت قيمة منبع التغذية.



الشكل 18.7: الإشباع في المضخم العملياتي

تشكيلة دارة مضخم العملياتي Opamp Circuit Configuration

لاحظنا أن ربح مضخم العملياتي كبير جداً، نموذجياً 10^6 - 10^4. بفرض أن لدينا مضخماً بتغذية 15v ± وربح 10^6، إذاً لتجاوز قص إشارة الخرج يجب أن يكون $|V_{out}| < 15\mu V$. في هذه الحالة، يجب أن يحقق الدخل التفاضلي العلاقة:

$$| V_{+} - V_{-} | < \frac{15}{10^6} = 15.0\mu V$$

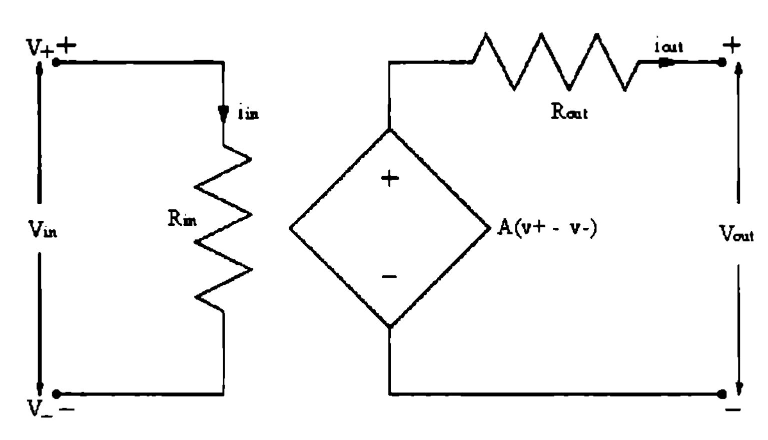
إنها قيمة صغيرة جداً. لذلك من السهل جداً أن نحصل على حالة الإشباع. هذه الحالة مفيدة في بعض التطبيقات، لكنها عموماً بحاجة إلى تكييف ربح مضخم العمليات باستخدام التغذية العكسية (feedback).

تفيد التغذية العكسية السالبة (Negative feedback) في تطبيقات المضخمات الراديوية، حيث نريد تضخيماً جيداً ومستقراً بدون حدوث قص لإشارة الخرج. كما نرغب بأن يكون التضخيم مستقلاً عن التغييرات في بارامترات المضخم.

أما التغذية العكسية الموجبة (Positive feedback) فتستخدم في دارات المهتزات، حيث نريد توليد موجات، وهي حالة عدم استقرار (إلى حد ما). تستخدم المهتزات بشكل واسع في الإلكترونيات الرقمية والتشابهية لتوليد موجات بأشكال متعددة.

موديل المضخم العملياتي Opamp Model

يبين الشكل 18.3 مخطط دارة المضخم، وهو معقد نوعاً ما. لذلك نرغب باستخدام موديل أكثر بساطة وسهولة، مع الحفاظ على وظيفة المضخم. يبين الشكل 18.8 هذا الموديل.



الشكل 18.8: موديل الضخم العملياتي

في هذا الموديل، نأخذ مقاومتي الدخل والخرج (R_{in}، R_{out}) بعين الاعتبار، لكننا نهمل سلوك المضخم في حالة الترددات المرتفعة والإشباع. تعطى معادلات هذا النموذج بالشكل التالي:

$$V_+ - V_- = R_{in}\, i_{in}$$

$$V_{out} = A(V_+ - V_-) - i_{out}\, R_{out}$$

عموماً لدينا:

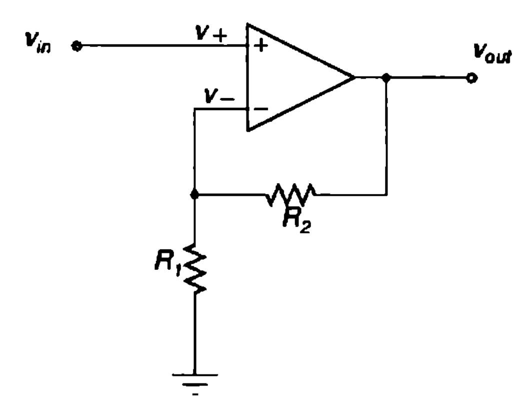
A كبيرة، R_{in} كبيرة، R_{out} صغيرة

التغذية العكسية السالبة والمضخم العملياتي

Negative Feedback and Opamp

سنقوم الآن بتحليل مضخم العمليات في دارة تغذية عكسية سالبة، ثم نستنتج موديلاً المضخم العملياتي صالحاً في حالة التغذية العكسية السالبة فقط

(انظر الشكل 18.9). في هذه الحالة لدينا $V_+ = V_{in}$. لاحظ أن التغذية العكسية السالبة هي مقاومة R_2 تصل بين خرج المضخم والدخل V_-.



الشكل 18.9: دارة مضخم عملياتي مع تغذية عكسية سالبة

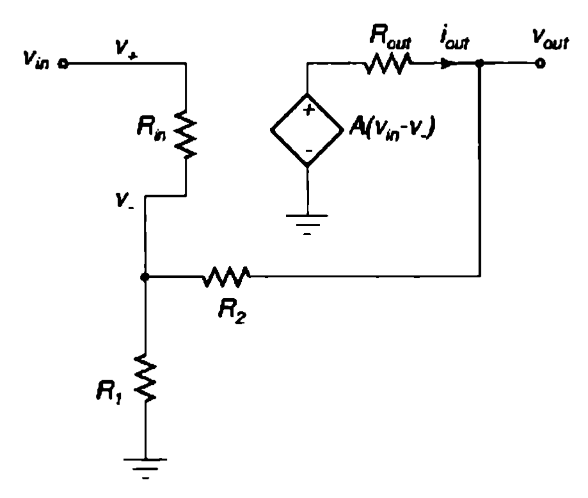
إذا استخدمنا موديل المضخم في دارة التغذية العكسية نحصل على الشكل 18.10.

بتطبيق قانون كيرشوف للتيارات في النقطة (V_-) نحصل على :

$$\frac{V_{in} - V_-}{R_{in}} + \frac{0 - V_-}{R_1} + \frac{V_{out} - V_-}{R_2} = 0$$

بحل وتبسيط المعادلة السابقة نجد:

$$V_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{out} + \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right) \frac{V_{in} - V_-}{R_{in}}$$



الشكل 18.10: موديل الضخم العملياتي في دارة تغذية عكسية سالبة

بتطبيق قانون كيرشوف للجهود نجد:

$$V_{out} = A(V_{in} - V_-) - i_{out} R_{out}$$

لنأخذ التقريب التالي:

بما أن $R_{in} \approx \infty$ (كبيرة جداً) هذا يعني أن $1/R_{in} \approx 0$ هذا يعطي:

$$V_- \approx \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{out}$$

أيضاً بما أن $R_{out} \approx 0$ (صغيرة جداً) نجد:

$$V_{out} \approx A(V_{in} - V_-)$$

بدمج العلاقتين السابقتين نجد:

$$V_{out} \approx A \times V_{in} - A\frac{R_1}{R_1 + R_2}V_{out}$$

بالحل نجد:

$$V_{out} \approx \frac{A}{1 + A\frac{R_1}{R_1 + R_2}}V_{in}$$

الآن، وبما أن $A \approx \infty$ نحصل على:

$$V_{out} = (1 + \frac{R_2}{R_1})V_{in}$$

إنها العلاقة الأساسية لدارة التغذية العكسية حيث يصبح الربح:

$$A' = (1 + \frac{R_2}{R_1})$$

إذاً، دارة التغذية العكسية السالبة المكونة من مضخم عمليات ومقاومتين هي عبارة عن مضخم بربح A'.

الموديل الافتراضي لمضخم العمليات في دارة التغذية العكسية السالبة

Virtual Model for Opamp in negative Feedback Circuit

لدينا من الحسابات السابقة، وبفرض A كبيرة جداً، $V_+ - V_- \approx 0$، وبالتالي $V_+ = V_-$. هذا يعني أنه لا يوجد أي هبوط جهد بين المدخلين. هذه فرضية مقبولة لأن:

$$V_{out} = 10v,\ A \approx 10^6$$

إذاً $V_+ - V_- = \dfrac{10}{10^6} = 10\mu v$

وهي أصغر بكثير من (10^6) إشارة الخرج.

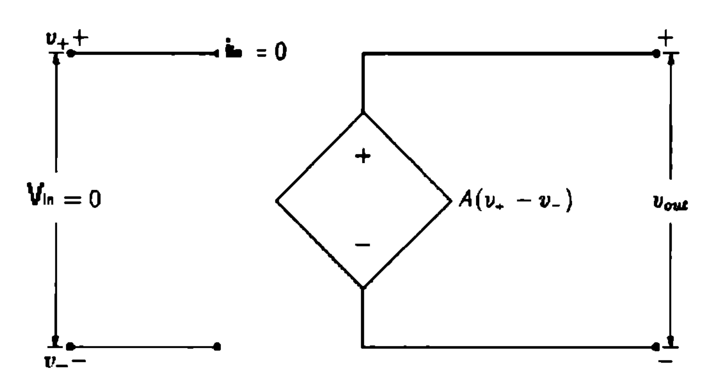
أيضاً، إذا كان i_+، i_- هما تيارا الدخل على المدخلين، وإذا كانت R_{in} كبيرة جداً ($10^6\Omega$) عندها يكون:

$i_+ = 0$ و $i_- = 0$

أي أن تياري الدخل معدومان.

نحصل بالتالي، من النتيجتين السابقتين على الموديل الافتراضي لمضخم العملياتي المبين في الشكل 18.11.

يساعد هذا الموديل في تبسيط عملية تحليل دارات المضخم العملياتي، ويعطي تقريباً أولياً جيداً جداً للسلوك الفعلي للمضخم.

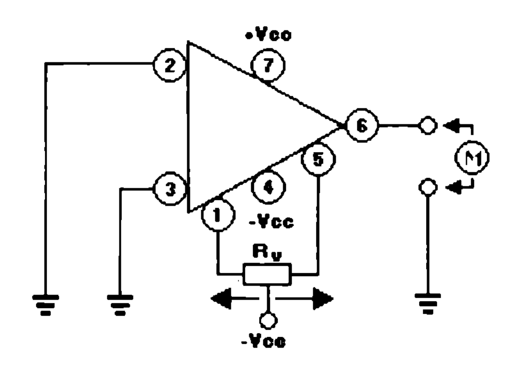


الشكل 18.11: موديل المضخم العملياتي الافتراضي

ضبط جهد الانزياح للمضخم العملياتي

Input Voltage offset Adjust of opamp

عند تأريض مدخلي مضخم العملياتي، نلاحظ وجود جهد على خرج المضخم (1-15 mv). نسمي هذا الجهد جهد انزياح الدخل. للتخلص من هذه المشكلة نتبع الإجرائية التالية (انظر الشكل 18.12).



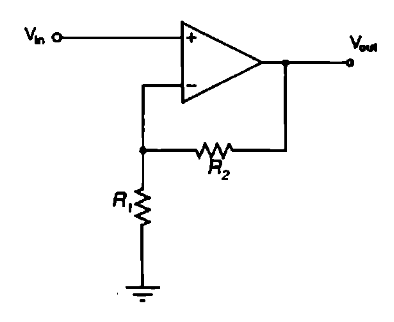
الشكل 18.13: ضبط انزياح جهد الدخل

- اضبط مقاومة متغيرة 10k على وضعية المنتصف
- ضع هذه المقاومة بين الرجلين 1، 5 من المضخم
- صل رجل المنتصف من المقاومة المتغيرة إلى جهد التغذية السالب
- صل الرجلين 2، 3 (المدخلين +V، -V) إلى الأرض
- قس جهد الخرج بواسطة مقياس جهد رقمي
- اضبط المقاومة حتى تحصل على جهد خرج صفري تماماً

دارات المضخم العملياتي الشائعة
Common Opamp Circuits

المضخم غير العاكس
Noninverting amplifier

يبين الشكل 18.13 مضخم عمليات في تشكيلة مضخم غير عاكس.



الشكل 18.13: مضخم غير عاكس

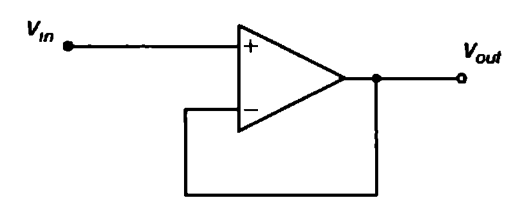
العلاقة التي تربط الدخل بالخرج في الدارة السابقة هي:

$$V_{out} = (1 + \frac{R_2}{R_1})V_{in}$$

يمكننا الحصول على العلاقة السابقة بتطبيق قانون كيرشوف للتيارات في النقطة V_-، مع اعتبار الموديل الافتراضي لمضخم العمليات ($V_+ = V_-$، $i_+ = 0$ $i_- = 0$)

تابع الجهد
Voltage Follower

يبين الشكل 1814 مضخم عملياتي ضمن تشكيلة تابع جهد.



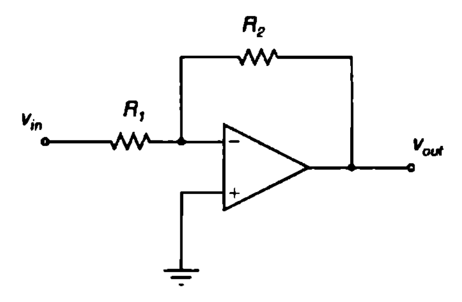
الشكل 18.15: دارة تابع جهد

لاحظ أنها حالة خاصة من تشكيلة المضخم غير العاكس، مع اعتبار $R_1 = \infty$، $R_2 = 0$. وهذا ما يعطي العلاقة:

$$V_{out} = V_{in}$$

المضخم العاكس Inverting Amplifier

يبين الشكل 18.15 مضخم عملياتي ضمن تشكيلة مضخم عاكس.



الشكل 18.15: دارة مضخم عاكس

العلاقة الأساسية التي تربط الدخل بالخرج هي:

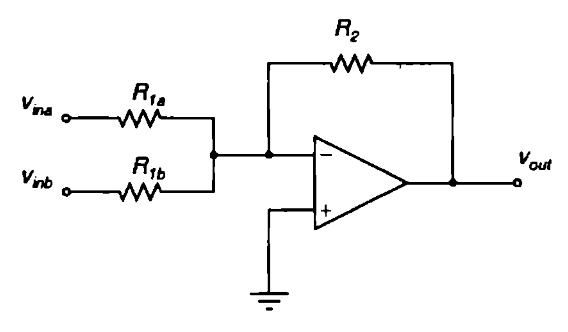
$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$$

تُستمد كلمة عاكس من إشارة السالب (تعني انزياح صفحة قدره 180°).

يمكن الحصول على العلاقة السابقة بتطبيق قانون كيرشوف للتيار في النقطة (V)، مع اعتبار الموديل الافتراضي لمضخم العمليات.

الجامع Adder

يبين الشكل 18.16 مضخم عمليات ضمن تشكيلة المضخم الجامع.



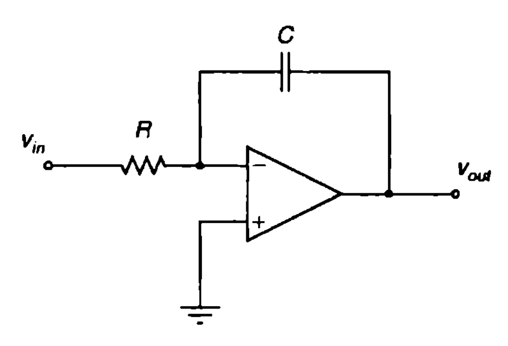
الشكل 18.16: دارة المضخم الجامع

لهذه الدارة إشارتا دخل هما V_{ina}، V_{inb}. العلاقة التي تربط الدخل بالخرج هي:

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_{1a}} V_{ina} - \frac{R_2}{R_{1b}} V_{inb}$$

المكامل Integrator

يبين الشكل 18.17 مضخم عمليات ضمن تشكيلة مضخم مكامل.



الشكل 18.17: دارة مضخم مكامل

العلاقة الأساسية لدارة المكامل هي:

$$V_{out} = \frac{-1}{R_c} \int_{0}^{t} V_{in}(t)dt + V_{out}(0^{-})$$

المهتز Oscillator

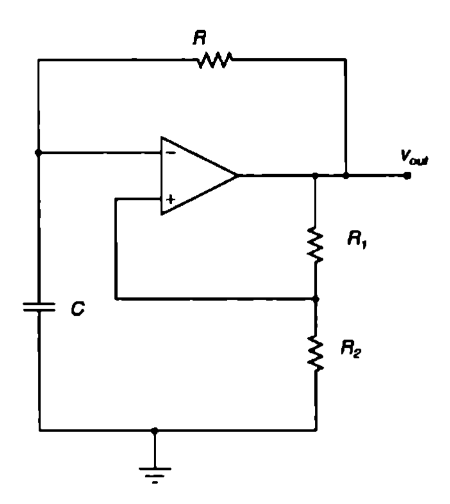
يبين الشكل 18.18 مضخم عمليات ضمن تشكيلة المهتز. لاحظ أن هذه الدارة تستخدم تغذية عكسية موجبة (لاحظ الوصلة بين طرف الخرج والدخل V_-). تعطي هذه الدارة موجة مربعة ذات مطال متغير بين V_{cc+}، V_{cc-}.

يعطى تردد هذه الموجة بالعلاقة:

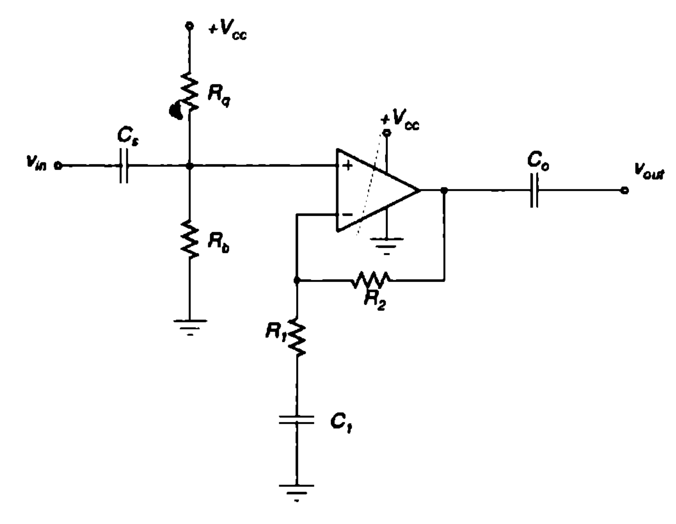
$$F = \frac{1}{2RC}$$

المضخم الصوتي Audio Amplifier

يبين الشكل 18.19 دارة مضخم عمليات ضمن تشكيلة مضخم صوتي (غير عاكس).



الشكل 18.18 : دارة المهتز باستخدام مضخم عمليات



الشكل 18.19 : دارة مضخم صوتي

الملحق /A/

المزدوجة الحرارية

Thermocouple

تعد المزدوجة الحرارية (ترموكوبل) أحد أنواع حساسات الحرارة الأكثر استخداماً، وخصوصاً في المجالات الصناعية. تتوفر عدة أنواع من المزدوجات الحرارية المختلفة من حيث مجال الاستخدام ومواد التصنيع. يتم اختيار نوع المزدوجة الحرارية المناسب تبعاً لعدة عوامل: مجال درجة الحرارة، جهد الخرج المطلوب، الوسط المحيط.

يبين الجدول 1 التالي أنواع المزدوجات الحرارية القياسية، ومجال استخدامها، وتطبيقاتها.

الجدول 1: أنواع المزدوجة الحرارية واستخداماتها

النوع	مواد التصنيع	مجال الاستخدام الكلي	مجال الاستخدام الأمثل	التطبيقات
B	Platinum30% Rhodium (+) Platinum 6% Rhodium (-)	32 -3092 F 0 - 1700 C	2500 - 3100 F 1370 - 1700 C	ينصح باستخدامها في الأوساط المؤكسدة أو الخاملة. تتعرض للتلف في الأوساط الأخرى. لا توضع ضمن أنابيب معدنية . تستعمل في مجال صناعة الزجاج.

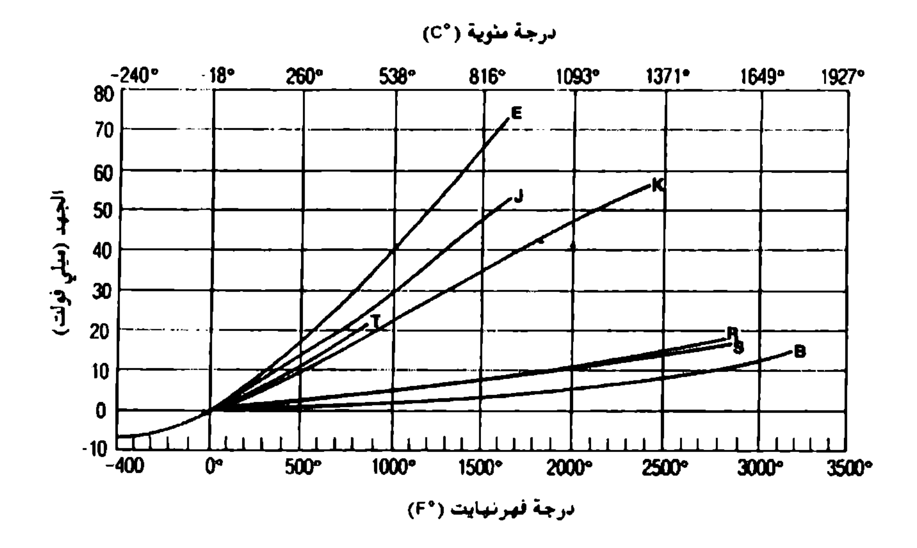
النوع	مواد التصنيع	مجال الاستخدام الكلي	مجال الاستخدام الأمثل	التطبيقات
E	Chromel (+) Constantan (-)	-328 - 1652 F -200 - 900 C	200 - 1650 F 95 - 900 C	تستخدم بشكل أساسي في الأوساط المؤكسدة. استخدام محدود في الأوساط المرجعة ، أو الخلاء.
J	Iron (+) Constantan (-)	32 - 1382 F 0 - 750 C	200 - 1400 F 95 - 760 C	تستخدم في الأوساط المرجعة والخاملة. لا تستخدم في الأوساط المؤكسدة أو الرطبة. تستعمل في مجال صناعة البلاستيك.
K	Chromel (+) Alumel (-)	-328 - 2282 F -200 - 1250 C	200 - 2300 F 95 - 1260 C	تستخدم في الأوساط المؤكسدة والخاملة. تناسب درجات الحرارة المرتفعة °C [583-1093].
R	Platinum 13% Rhodium (+) Platinum (-)	32 - 2642 F 0 - 1450 C	1600 - 2640 F 870 - 1450 C	تستخدم في الأوساط المؤكسدة والخاملة. تناسب درجات الحرارة المرتفعة جداً. مقاومة للأكسدة والصدأ. لا توضع ضمن أنابيب معدنية. لا تستخدم في الأوساط المرجعة التي تحوي أبخرة معادن.
S	Platinum 10% Rhodium (+) Platinum (-)	32 - 2642 F 0 - 1450 C	1800 - 2640 F 980 - 1450 C	تستخدم في الأوساط المؤكسدة والخاملة. تناسب درجات الحرارة المرتفعة جداً. مقاومة للأكسدة والصدأ. لا توضع ضمن أنابيب معدنية. لا تستخدم في الأوساط المرجعة التي تحوي أبخرة معادن.

النوع	مواد التصنيع	مجال الاستخدام الكلي	مجال الاستخدام الأمثل	التطبيقات
T	Copper (+) Constantan (-)	-330 - 660 F -200 - 350 C	-330 - 660 F -200 - 350 C	تستخدم في الأوساط المؤكسدة، المرجعة، الخاملة، وفي الخلاء. لا تتأثر بالرطوبة. مناسبة لدرجات الحرارة لمنخفضة (استقرار كبير).

جهد خرج المزدوجة الحرارية

EMF output of thermocouple

يبين الخطط التالي الجهد (القوة المحركة الكهربائية EMF) الناتج عن أنواع المزدوجة الحرارية تبعاً لدرجة الحرارة المقاسة.

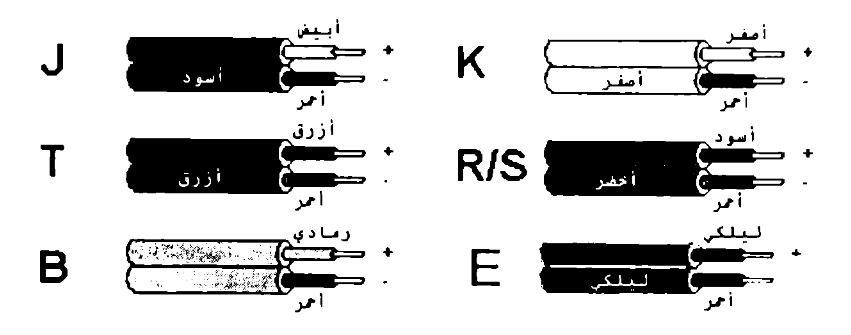


الرموز اللونية للمزدوجات الحرارية

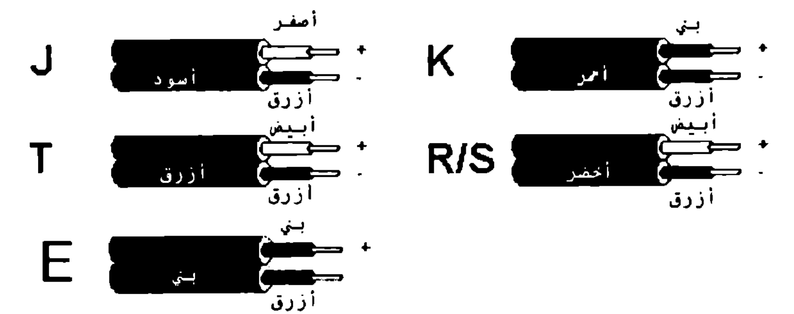
Thermocouple Color Codes

يتم ترميز أسلاك المزدوجة حرارية وفق نوعها. هناك عدة رموز مختلفة تستخدم في عدد من الدول. أحياناً قد يكون لون الغلاف الخارجي للأسلاك غير مصمت، أي مخطط. ونبين فيما يلي الرموز القياسية العالمية المستخدمة.

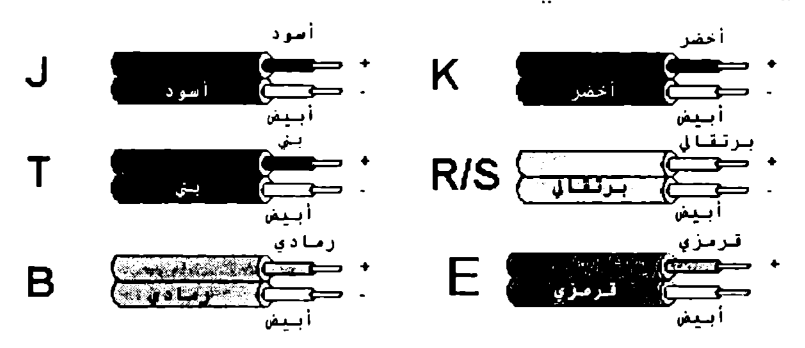
معيار ANSI /MC96.1 الأمريكي



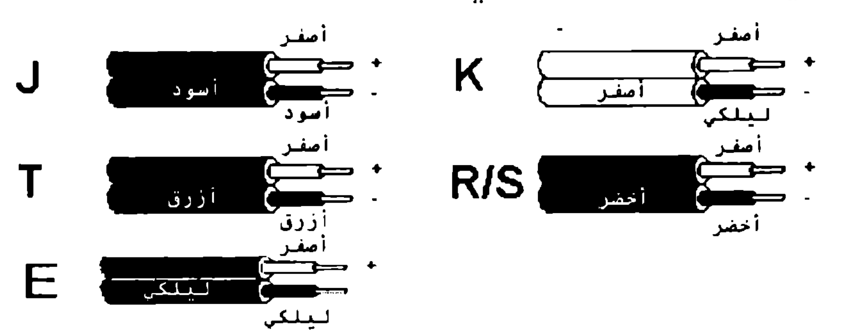
معيار BS1843 البريطاني (1952)



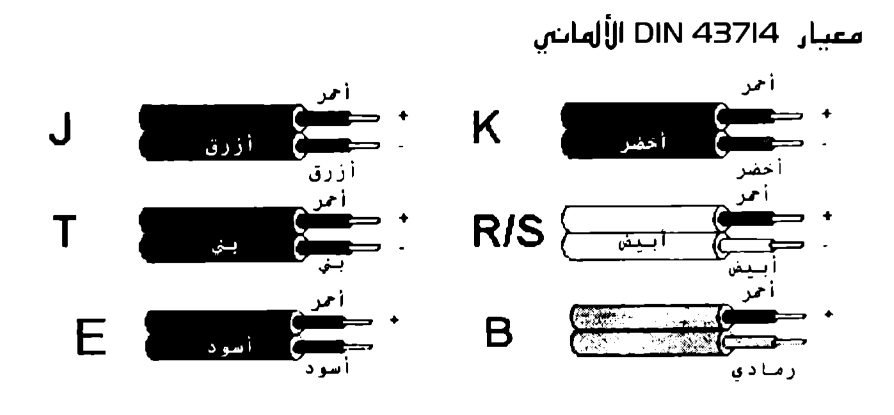
معيار BS4937 العالمي (1993)



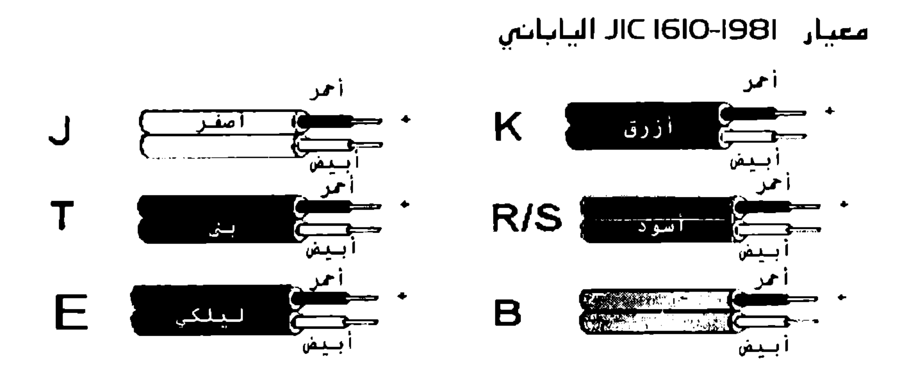
معيار NFC 42323 الفرنسي



معيار DIN 43714 الألماني



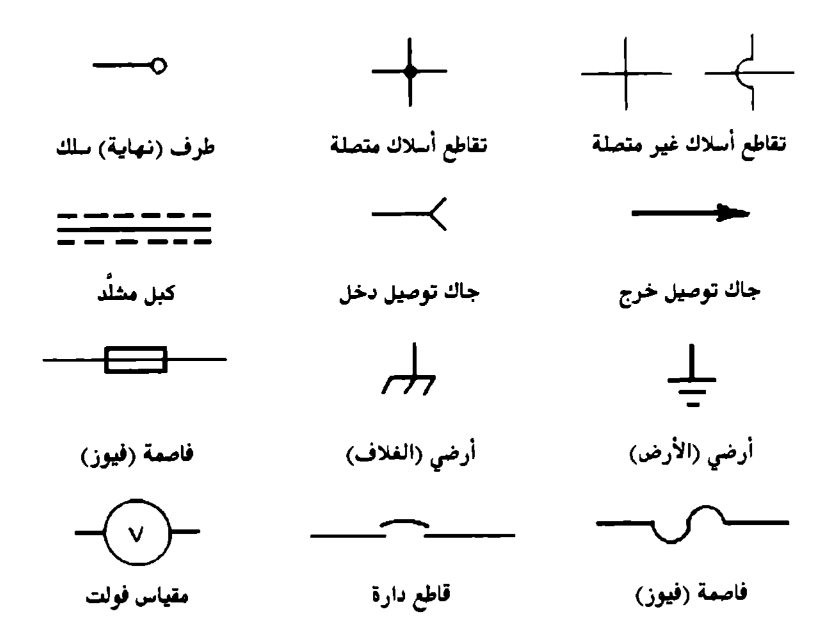
معيار JIC 1610-1981 الياباني

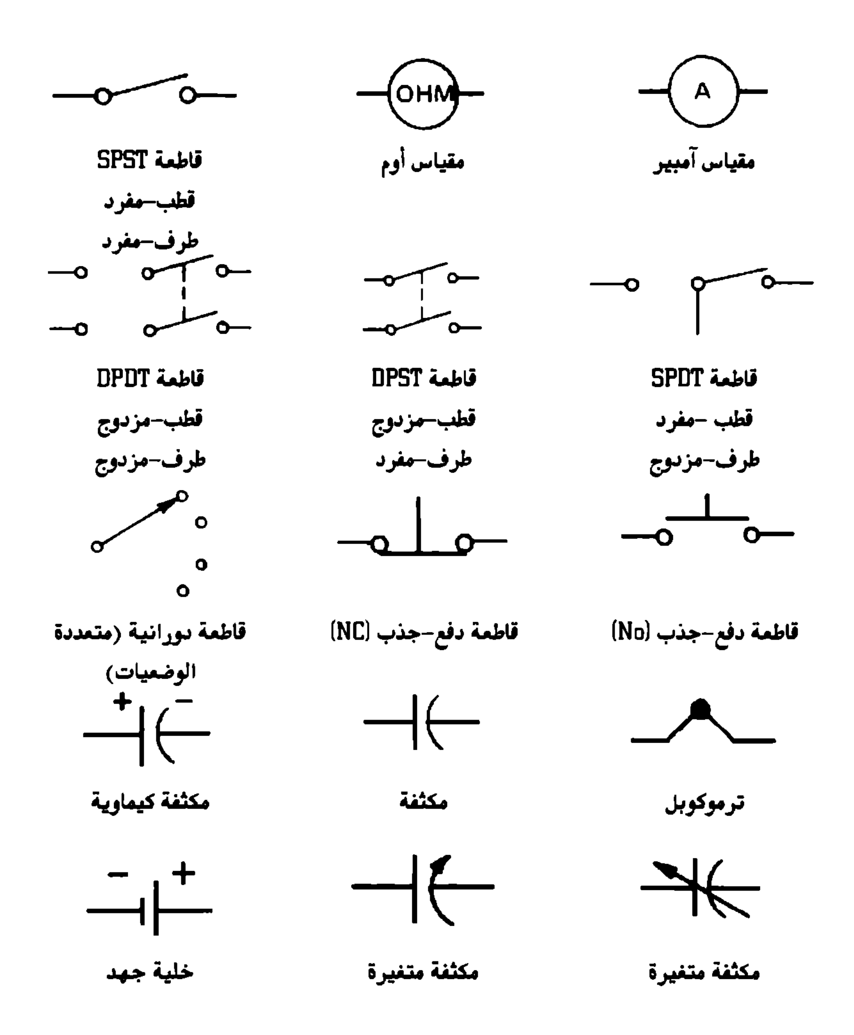


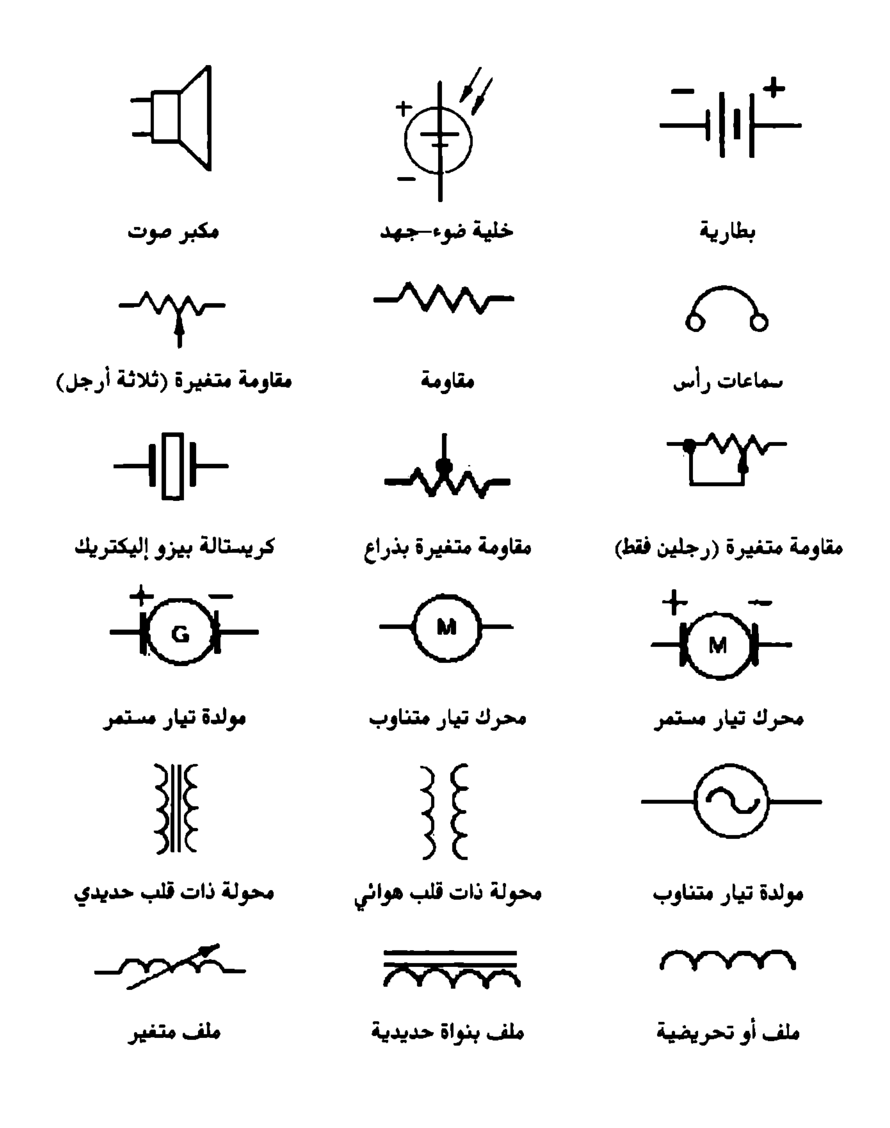
الملحق /B/

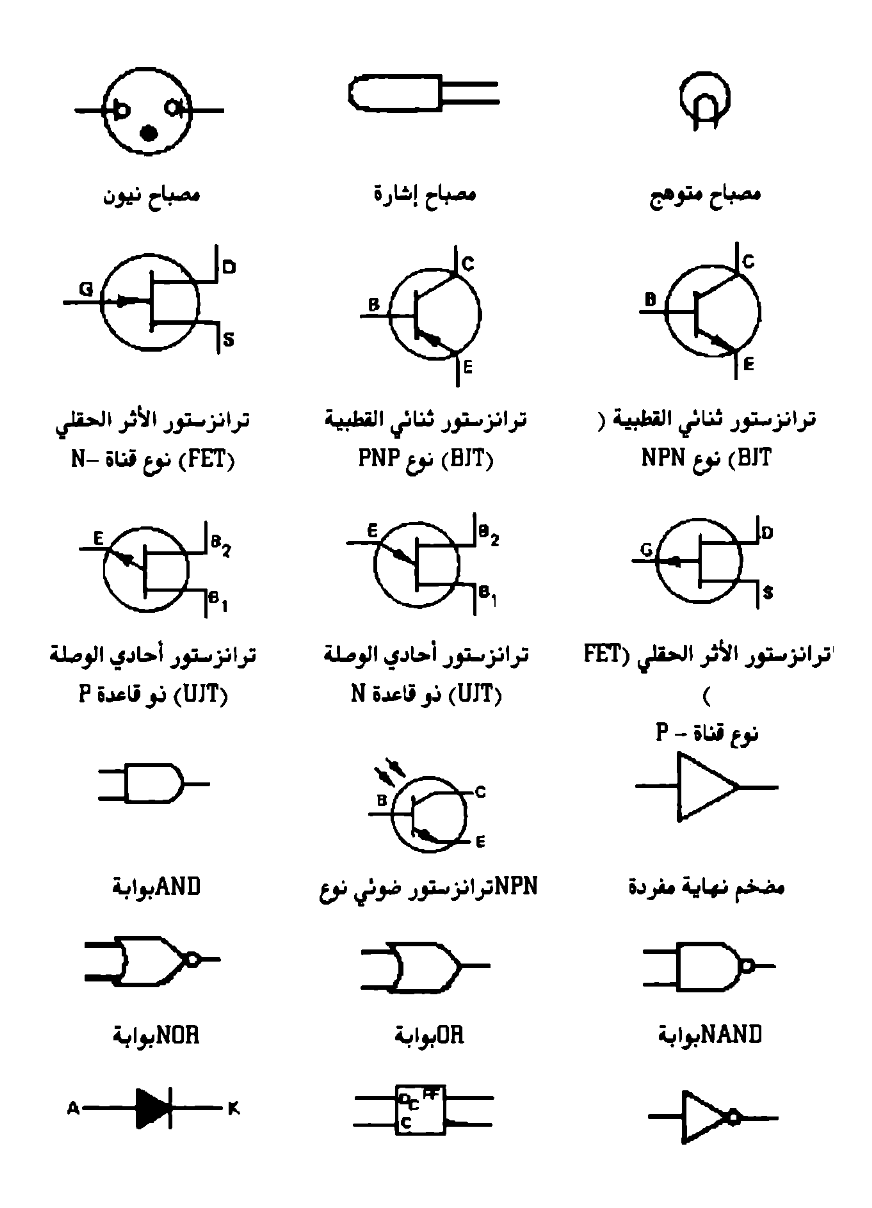
الرموز الكهربائية والإلكترونية الأساسية

Basic Electronic Symbols

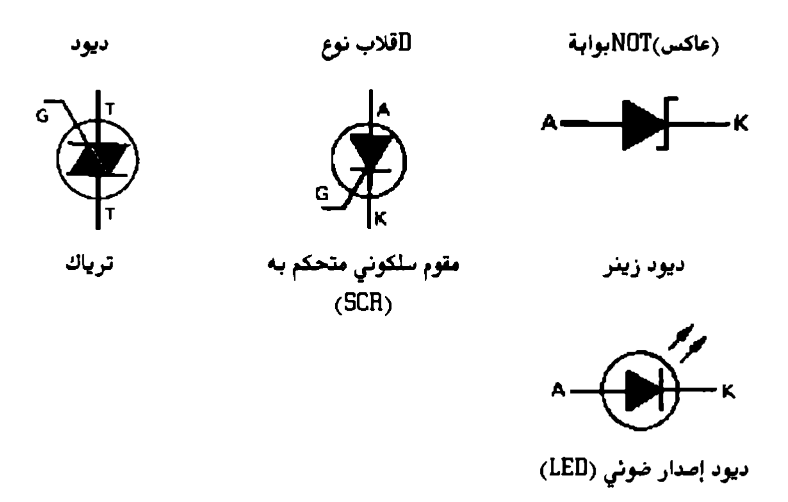



OHM
A
قاطعة SPST
قطب-مفرد
طرف-مفرد
مقياس أوم
مقياس آمبير
قاطعة DPDT
قطب-مزدوج
طرف-مزدوج
قاطعة DPST
قطب-مزدوج
طرف-مفرد
قاطعة SPDT
قطب -مفرد
طرف-مزدوج
قاطعة دورانية (متعددة الوضعيات)
قاطعة دفع-جذب (NC)
قاطعة دفع-جذب (No)
+
-
مكثفة كيماوية
مكثفة
ترموكوبل
-
+
خلية جهد
مكثفة متغيرة
مكثفة متغيرة


بطارية
خلية ضوء–جهد
مكبر صوت
سماعات رأس
مقاومة
مقاومة متغيرة (ثلاثة أرجل)
مقاومة متغيرة (رجلين فقط)
مقاومة متغيرة بذراع
كريستالة بيزو إليكتريك
M
محرك تيار مستمر
محرك تيار متناوب
G
مولدة تيار مستمر
مولدة تيار متناوب
محولة ذات قلب هوائي
محولة ذات قلب حديدي
ملف أو تحريضية
ملف بنواة حديدية
ملف متغير


مصباح متوهج
مصباح إشارة
مصباح نيون
C
B
E
ترانزستور ثنائي القطبية (BJT نوع NPN
C
B
E
ترانزستور ثنائي القطبية (BJT) نوع PNP
G
D
S
ترانزستور الأثر الحقلي (FET) نوع قناة –N
G
D
S
ترانزستور الأثر الحقلي (FET)
نوع قناة – P
E
B2
B1
ترانزستور أحادي الوصلة (UJT) ذو قاعدة N
E
B2
B1
ترانزستور أحادي الوصلة (UJT) ذو قاعدة P
مضخم نهاية مفردة
B
C
E
ترانزستور ضوئي نوع NPN
بوابة AND
بوابة NAND
بوابة OR
بوابة NOR
FF
D
C
C
A
K

بوابة NOT (عاكس)　　قلاب نوع D　　ديود



ديود زينر

مقوم سلكوني متحكم به (SCR)

ترياك

ديود إصدار ضوئي (LED)

الملحق /C/

السوابق واللواحق في
أسماء الدارات المتكاملة
IC Prefixes And Suffixes

غالباً ما نحتاج إلى قائمة شاملة من الرموز التي تستعمل قبل رقم الدارة المتكاملة والت تدعى السوابق (IC prefixes). نستطيع أن نستنتج من هذه الرموز، وبسرعة، اسم الشركة المصنعة. يحاول هذا الملحق أن يغطي معظم المعلومات المتوفرة عن هذه السوابق.

السوابق PREFIXES

يستخدم صانعو أنصاف النواقل سوابق مميزة (prefixes) تسبق رقم الدارة المتكاملة، وحتى عندما تكون الدارة نفسها مصنوعة من قبل شركات مختلفة فإن السوابق تكون مختلفة بين صانع وآخر. فالحرفان DM، مثلاً، يشيران إلى تقانة digital monolithic، وهي مصنوعة من قبل شركة National Semiconductor. نبين فيما يلي لائحة بأكثر السوابق انتشارا:

(Manufacturer) الشركة المصنعة	(Prefixes) البادئة
General Instrument (GI)	ACF, AY, GIC, GP, SPR
AD, CAV, HAS, HDM	Analog Devices
ADC, DM, DS, LF, LFT, NH	National Semiconductor (NSC)
AH	Optical Electronics Inc.
Am	Advanced Micro Devices (AMD)
AM	Datel
AN	Panasonic
Bt	Brooktree
BX, CX	Sony
C, I, i	Intel
CA, CD, CDP	Ge/RCA
CA, TDC, MPY, THC, TMC	TRW
CM, HV	Supertex
CLC	Comlinear
CMP, DAC, MAT, OP, PM, REF, SSS	Precision Monolithics
CY	Cypress
D, DF, DG, SI	Siliconix
DS	Dallas Semiconductor
EF, ET, ML, SFC, TDF, TS	Thomson/Mostek
EP, EPM, PL	Altera
F, µA, µL, Unx	Fairchild/NSC
FSS, ZLD	Ferranti
GA	Gazelle
GAL	Lattice
GEL	GE

(Manufacturer) الشركة المصنعة	(Prefixes) البادئة
HA, HI	Harris
HA, HD, HG, HL, HM, HN	Hitachi
HADC, HDAC	Honeywell
HEP, MC, MCC, MCM, MEC, MM,MWM	Motorola
ICH, ICL, ICM, IM	GE/Intersil
IDT	Integrated Device Technology Siemens
IMS	Inmos
INA, ISO, OPA, PWR	Burr-Brown
IR	Sharp
ITT, MIC	ITT
KA	Samsung
L	SGS
L, LD	Siliconix, Siltronics
L, UC	Unitrode
LA, LC	Sanyo
LS	LSI Computer Systems
LT, LTC, LTZ	Linear Technology Corp.
M	Mitsubishi
MA	Analog Systems, Marconi
MAX	Maxim
MB	Fujitsu
MCS	MOS Technology
MIL	Microsystems
ML, MN, SL, SP, TAB	International Plessey
ML, MT	Mitel

(Manufacturer) الشركة المصنعة	(Prefixes) البادئة
MM	Teledyne-Amelco, Monolithic Memories
MP	Micro Power Systems
MSM	Oki
N, NE, PLS, S, SE, SP	Signetics
nnG	Gigabit Logic
NC	Nitron
PA	Apex
PAL	AMD/MMI
R	Rockwell
R, Ray, RC, RM	Raytheon
RD, RF, RM,RT, TU	EG&G Reticon
S	AMI
SFC	ESMF
SG	Silicon General
SN, TL, TLC, TMS	Texas Instruments (TI)
T, TA, TC, TD, TMM, TMP	Silicon Systems Toshiba
OM, PCD, PCF, SAA, SAB, SAF, SCB, SCN, TAA, TBA, TCA, TDA, TEA, U	AEG, Amperex, SGS, Siemens, Signetics, Telefnken
TML	Telmos
TP	Teledyne Philbrick
TPQ, UCN, UCS, UDN, UDS, UHP, ULN, ULS	Sprague
TSC	Teledyne Semiconductor
μPB, μPC, μPD	NEC
V	Amtel

البادئة (Prefixes)	الشركة المصنعة (Manufacturer)
VTC	VA, VC
VLSI Technology Inc. (VTI)	VT
Xicor	X
Xilinx	XC
Exar	XR
Zilog	Z
Fettanti	ZN
Hewlett-Packard (HP)	5082-nnnn

اللواحق SUFFIXES

إن الحروف التي تلي الاسم (suffixes) تشير إلى نوع التغليف والمجال الحراري. هناك ثلاثة مجالات قياسية لدرجة الحرارة: المجال العسكري (military) وهو يتراوح بين -55°C إلى +125°C، والمجال الصناعي (industrial) وهو يتراوح بين -25°C إلى +85°C، والمجال التجاري (commercial)، وهو يتراوح بين 0°C إلى +70°C ويعد المجال التجاري مناسباً لأي جهاز إلكتروني نريد استخدامه ضمن الغرف والمباني العامة.

إن لكل صانع أنصاف نواقل مجموعة من رموز اللواحق الخاصة به، والتي يستعملها في ترميز عناصره. لذلك يجدر الانتباه إلى معناها عند استخدام تلك العناصر في التطبيقات المختلفة.

رموز التاريخ DATE CODES

تختم معظم عناصر الدارات المتكاملة والترانزستورات بأربعة أرقام تشير إلى تاريخ صنعها. حيث يستخدم الرقمان الأولان للدلالة على سنة الصنع والرقمان

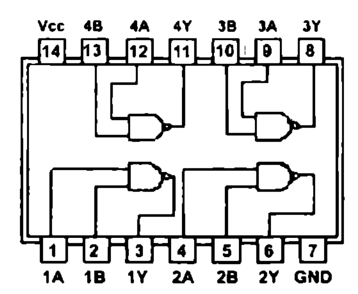
الأخيران للدلالة على رقم الأسبوع في تلك السنة. فالرمز 7410 يعني الأسبوع الثاني من آذار 1974. إن هذه التواريخ قد تكون مفيدة في تقدير عمر العنصر الذي له مدة صلاحية محدودة (مثل المكثفات الكهروكيميائية). لكن وبصورة عامة لا تتعطل الدارات المتكاملة بمرور الزمن، وبالتالي فلا ضرورة لتجنب شراء الدارات التي لها تاريخ قديم نوعاً ما.

الملحق /D/

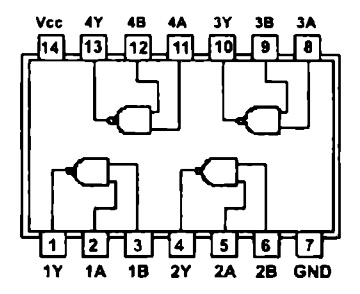
توزيع أرجل الدارات المتكاملة الرقمية نوع TTL

TTL Pinouts

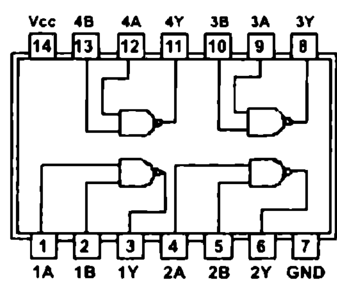
7400
QUADRUPLE 2-INPUT
POSITIVE-NAND GATES



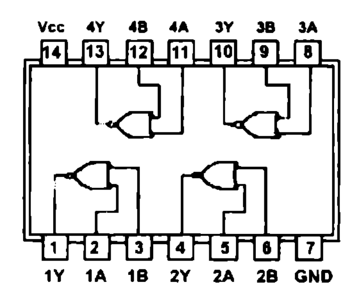
7401
QUADRUPLE 2-INPUT
POSITIVE-NAND GATES
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS



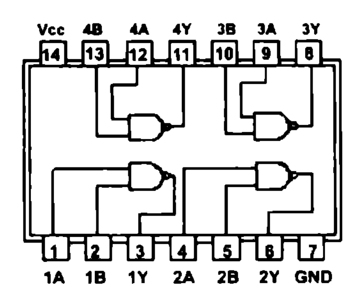
74H01
QUADRUPLE 2-INPUT
POSITIVE-NAND GATES
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS



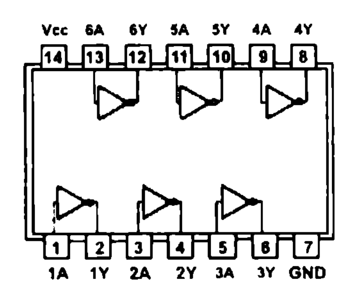
7402
QUADRUPLE 2-INPUT
POSITIVE-NOR GATES



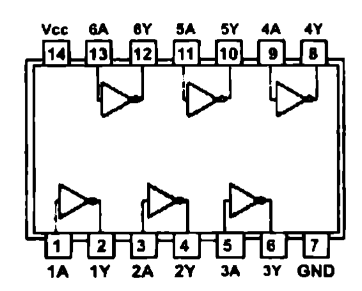
7403
QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-NAND GATES WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS



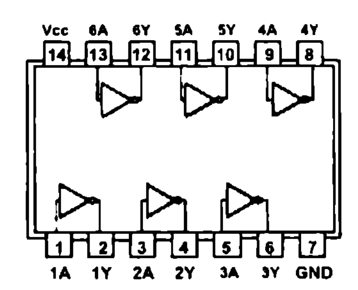
7404
HEX INVERTERS



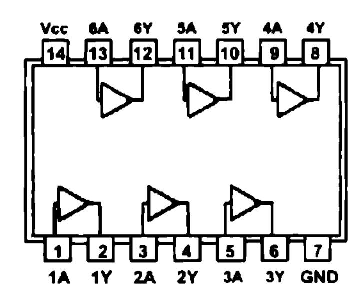
7405
HEX INVERTERS WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS



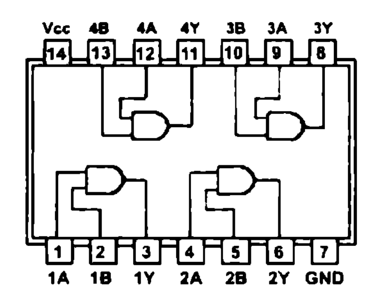
7406
HEX INVERTERS BUFFERS/DRIVERS WITH OPEN-COLLECTOR HIGH-VOLTAGE OUTPUTS



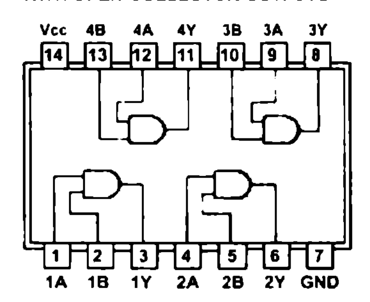
7407
HEX BUFFERS/DRIVERS WITH OPEN-COLLECTOR HIGH-VOLTAGE OUTPUTS



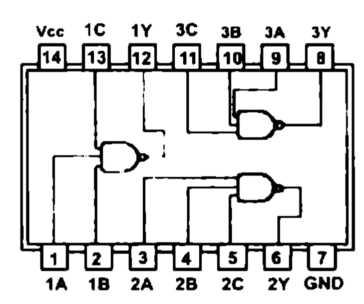
7408
QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATES



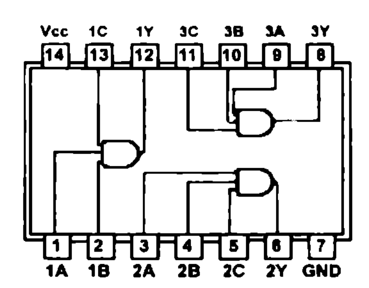
7409
QUADRUPLE 2-INPUT
POSITIVE-AND GATES
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS



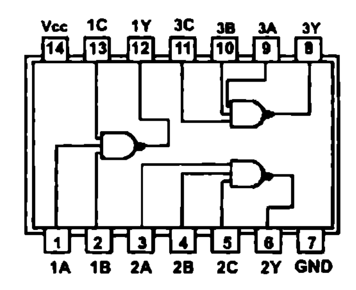
7410
TRIPLE 3-INPUT
POSITIVE-NAND GATES



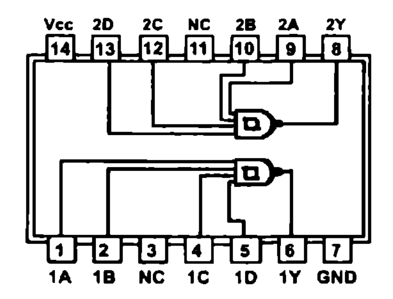
74H11
TRIPLE 3-INPUT
POSITIVE-AND GATES



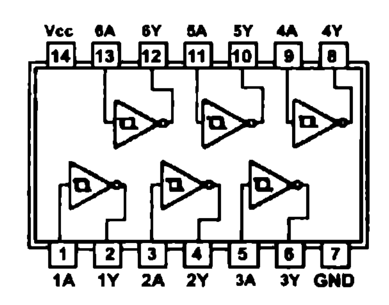
7412
TRIPLE 3-INPUT
POSITIVE-NAND GATES
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS



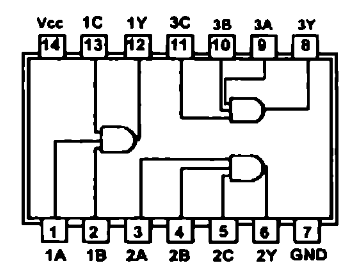
7413
DUAL 4-INPUT
POSITIVE-NAND
SCHMITT TRIGGERS



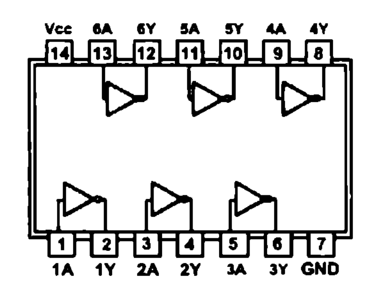
7414
HEX SCHMITT-TRIGGER
INVERTERS



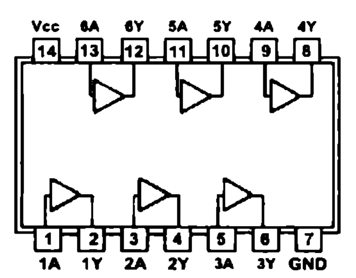
74H15
TRIPLE 3-INPUT
POSITIVE-AND GATES
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS



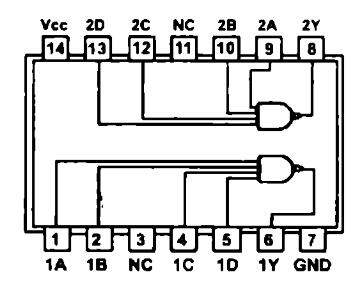
7416
HEX INVERTER BUFFERS/DRIVERS
WITH OPEN-COLLECTOR
HIGH-VOLTAGE OUTPUTS



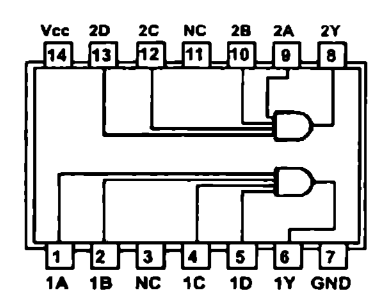
7417
HEX BUFFERS/DRIVERS
WITH OPEN-COLLECTOR
HIGH-VOLTAGE OUTPUTS



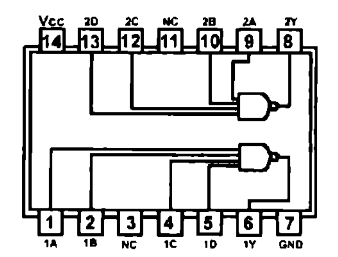
7420
DUAL 4-INPUT
POSITIVE-NAND GATES



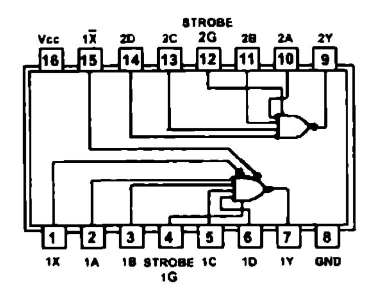
74H21
DUAL 4-INPUT
POSITIVE-NAND GATES



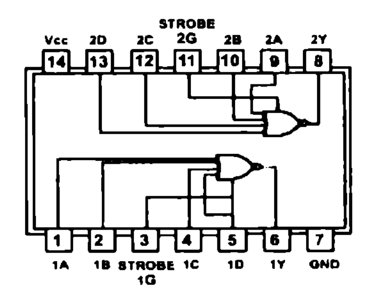
7422
DUAL 4 - INPUT
POSITIVE-NAND GATES
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS



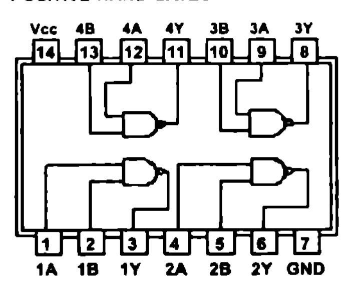
7423
EXPANDABLE DUAL 4-INPUT POSITIVE-NOR GATES WITH STROBE



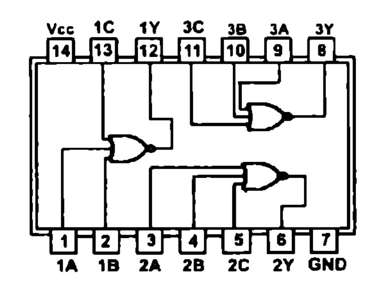
7425
DUAL 4-INPUT POSITIVE-NOR GATES WITH STROBE



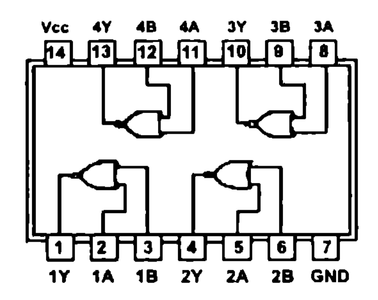
7426
QUADRUPLE 2-INPUT HIGH-VOLTAGE INTERFACE POSITIVE-NAND GATES



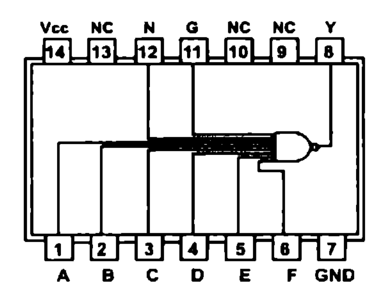
7427
TRIPLE 3-INPUT POSITIVE-NOR GATES



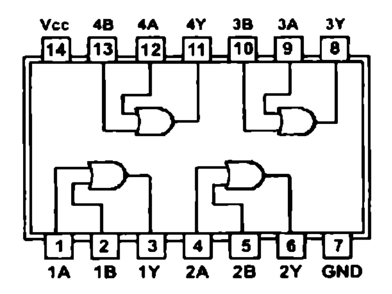
7428
QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-NOR BUFFERS



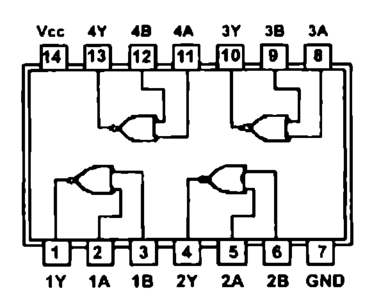
7430
8-INPUT POSITIVE-NAND GATES



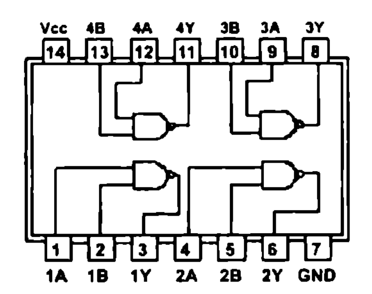
7432
QUADRUPLE 2-INPUT
POSITIVE-OR GATES



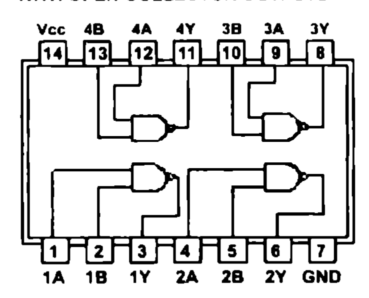
7433
QUADRUPLE 2-INPUT
POSITIVE-NOR BUFFERS
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS



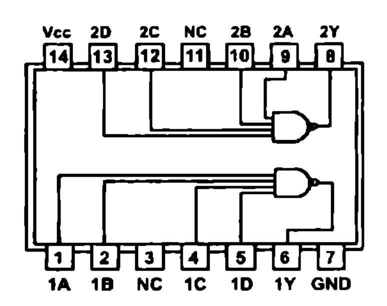
7437
QUADRUPLE 2-INPUT
POSITIVE-NAND BUFFERS



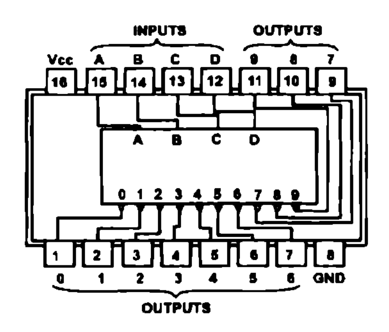
7438
QUADRUPLE 2-INPUT
POSITIVE-NAND BUFFERS
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS



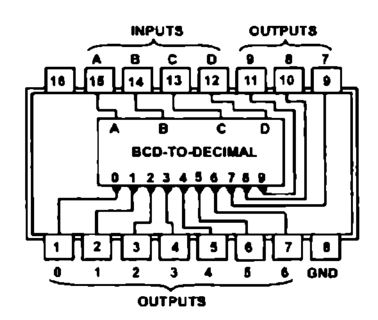
7440
DUAL 4-INPUT
POSITIVE-NAND BUFFERS



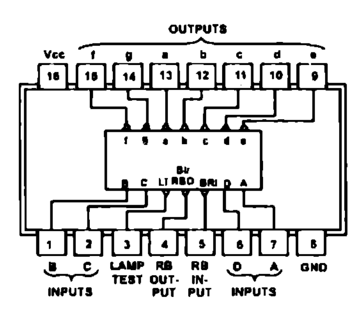
7442A
4 LINE-TO-10-LINE DECODERS



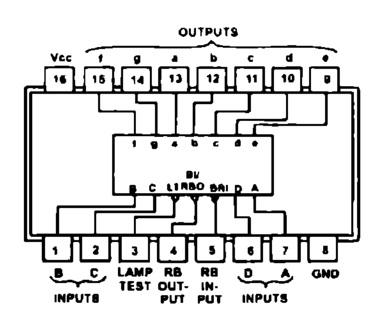
7445
BCD-TO-DECIMAL DECODER/DRIVER



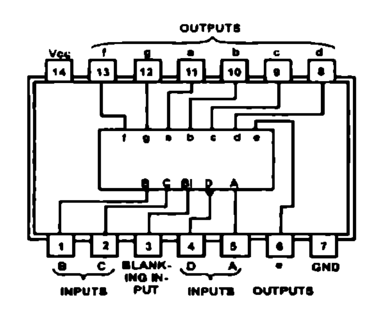
7446
BCD-TO-SEVEN-SEGMENT DECODERS/DRIVERS



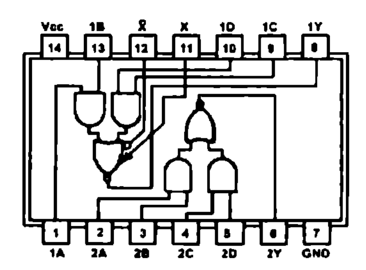
7448
BCD-TO-SEVEN-SEGMENT DECODERS/DRIVERS



74LS49
BCD-TO-SEVEN-SEGMENT DECODERS/DRIVERS



7450
DUAL 2-WIDE 2-INPUT AND-OR-INVERT GATES (ONE GATE EXPANDABLE)



7451
AND-OR-INVERT GATES

MAKE NO EXTERNAL CONNECTION

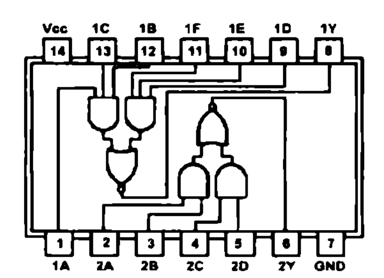
Vcc 1B 1D 1C 1Y

14 13 12 11 10 9 8

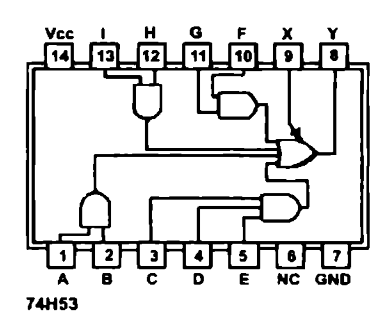
1 2 3 4 5 6 7

1A 2A 2B 2C 2D 2Y GND

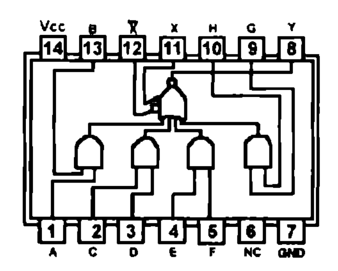
74L51



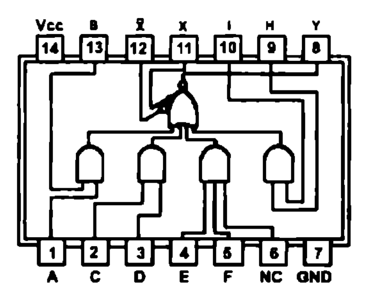
74H52
EXPANDABLE 4-WIDE
AND-OR GATES



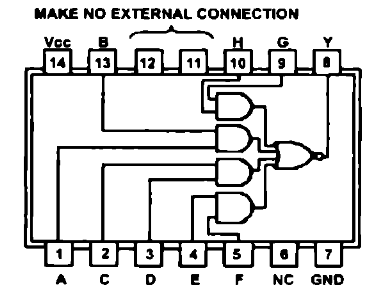
7453
EXPANDABLE 4-WIDE
AND-OR-INVERT GATES



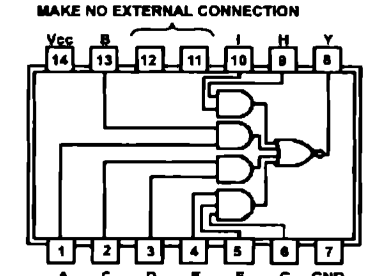
74H53



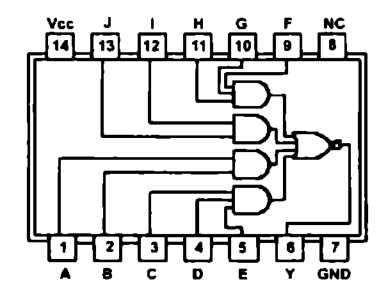
7454
4-WIDE
AND-OR-INVERT GATES



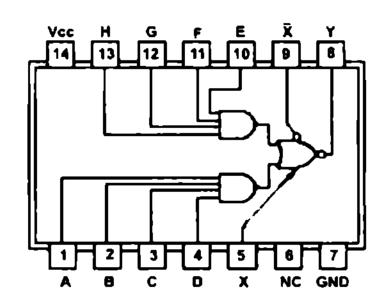
74H54



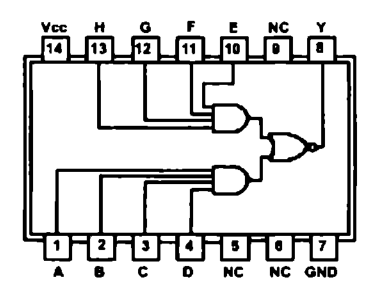
74L54



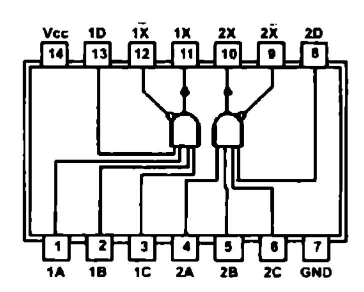
74H55
2-WIDE 4-INPUT
AND-OR-INVERT GATES



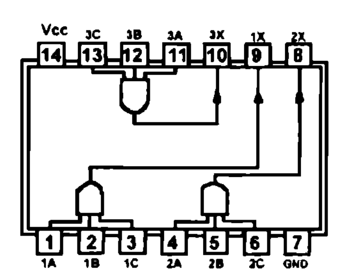
74L55



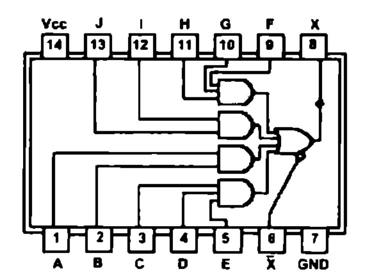
7460
DUAL 4-INPUT EXPANDERS



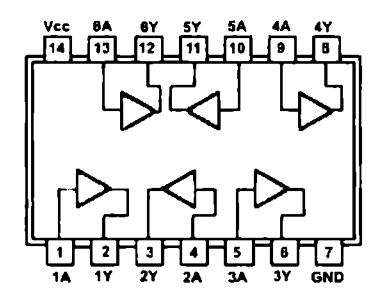
74H61
TRIPLE 3-INPUT
EXPANDERS



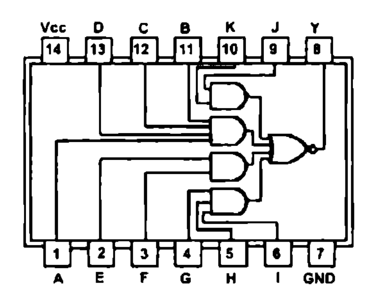
74H62
4-WIDE AND-OR EXPANDERS



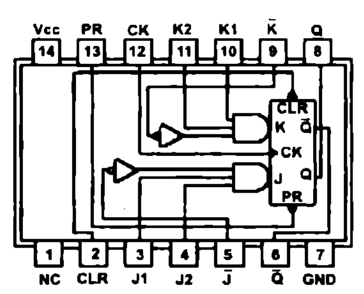
74LS63
HEX CURRENT-SENSING
INTERFACE GATES



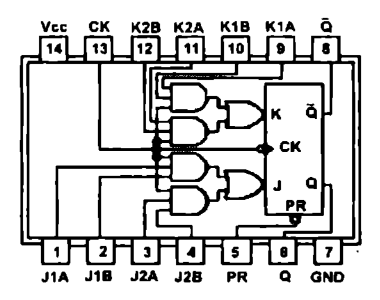
74S64
4-2-3-2 INPUT AND-OR-INVERT
GATES



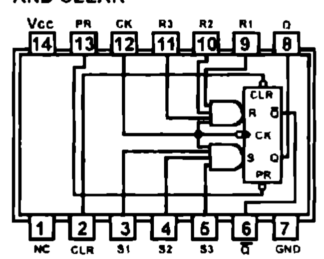
7470
AND-GATED J-K POSITIVE-EDGE-
TRIGGERED FLIP-FLOPS
WITH PRESET AND CLEAR



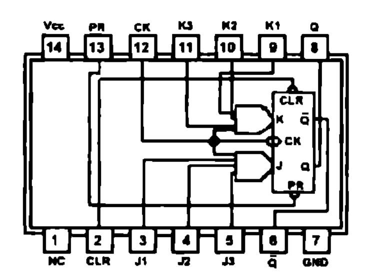
74H71
AND-OR-GATED J-K MASTER-SLAVE
FLIP-FLOPS WITH PRESET



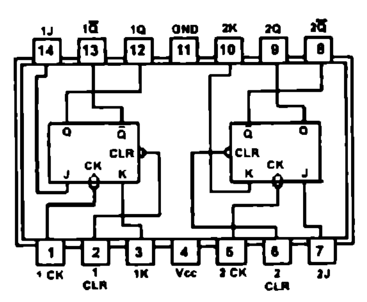
74L71
AND-GATED R-S MASTER-SLAVE
FLIP-FLOPS WITH PRESET
AND CLEAR



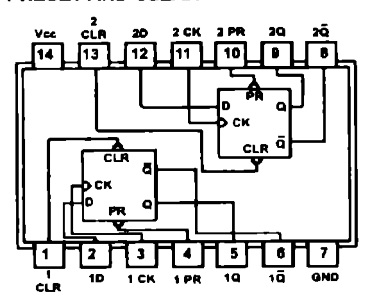
7472
AND-GATED J-K MASTER-SLAVE
FLIP-FLOPS WITH PRESET
AND CLEAR



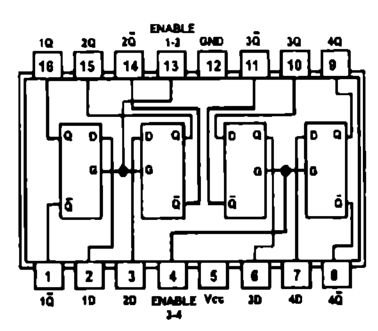
7473
DUAL J-K FLIP-FLOPS WITH CLEAR



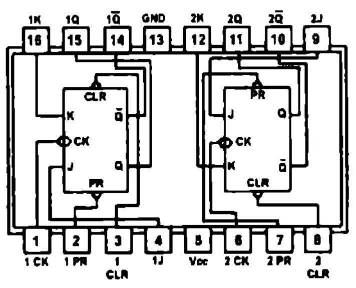
7474
DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH PRESET AND CLEAR



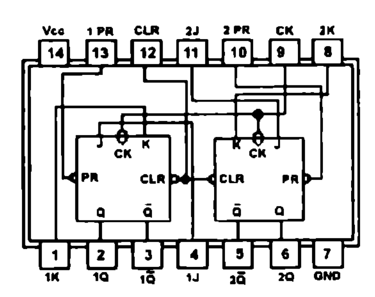
7475
4-BIT BISTABLE LATCHES



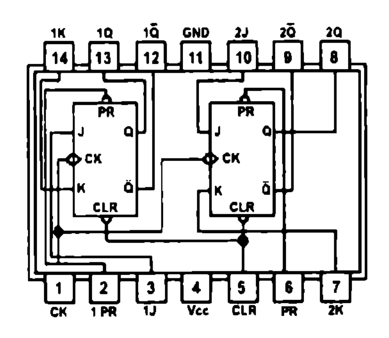
7476
DUAL J-K FLIP-FLOPS WITH PRESET AND CLEAR



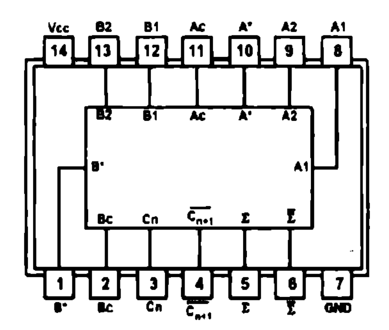
74H78
DUAL J-K FLIP-FLOPS WITH PRESET, COMMON CLEAR, AND COMMON CLOCK



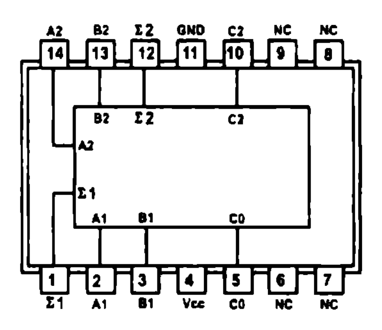
74L78



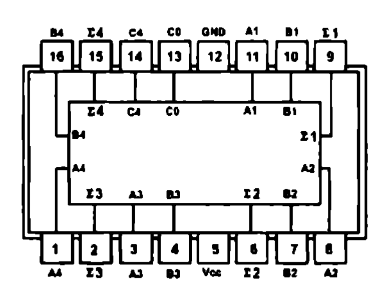
7480
GATED FULL ADDERS



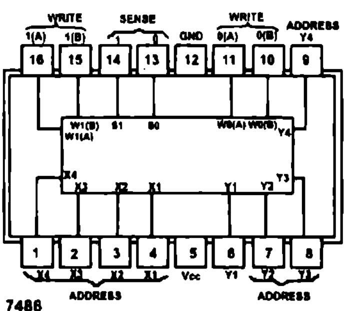
7482
2-BIT BINARY FULL ADDERS



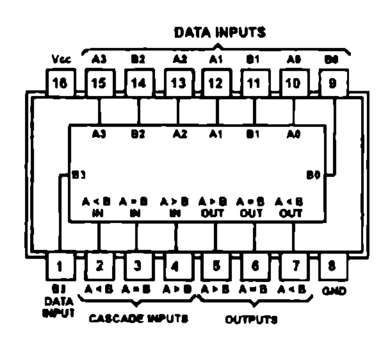
7483
4-BIT BINARY FULL ADDERS WITH FAST CARRY



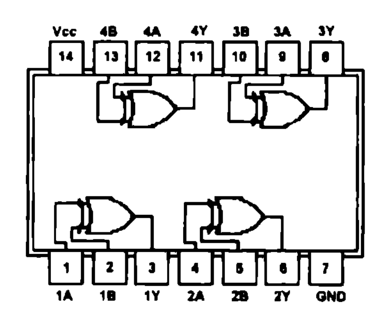
7484
16-BIT RANDOM-ACCESS MEMORIES



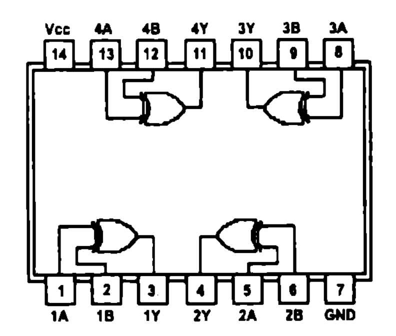
7485
4-BIT MAGNITUDE COMPARATORS



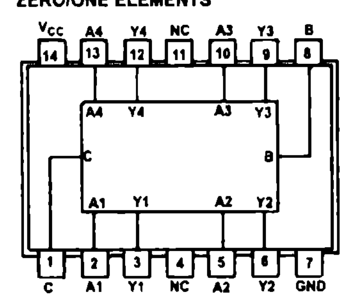
7486
QUADRUPLE 2-INPUT EXCLUSIVE-OR GATES



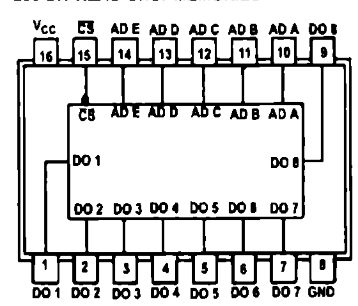
74L86



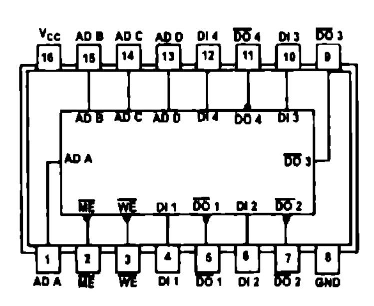
74H87
4-BIT TRUE/COMPLEMENT ZERO/ONE ELEMENTS



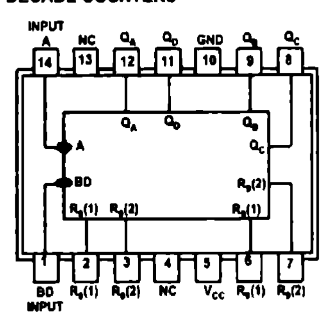
7488A
256-BIT READ-ONLY MEMORIES



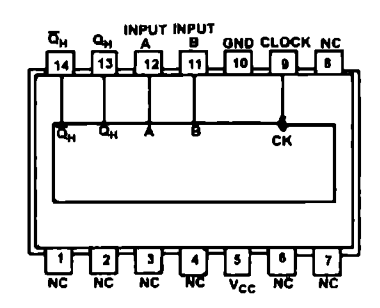
7489
64-BIT READ/WRITE MEMORIES



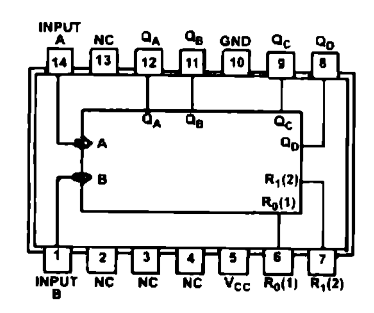
7490A
DECADE COUNTERS



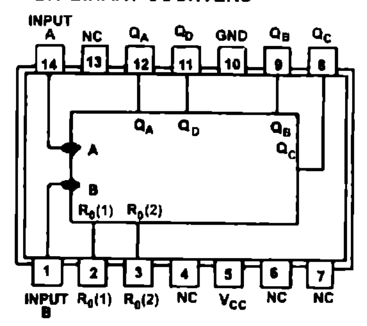
7491A
8-BIT SHIFT REGISTERS



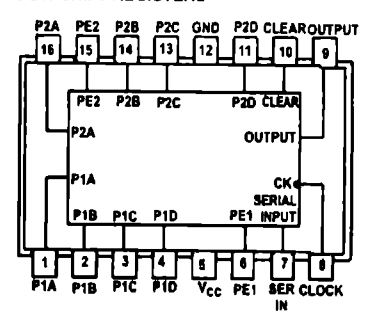
7492
DIVIDE-BY-TWELVE COUNTERS



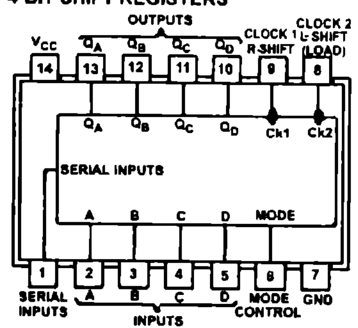
7493A
4-BIT BINARY COUNTERS



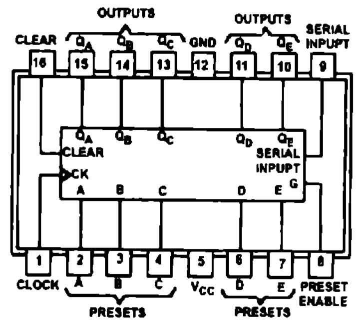
7494
6-BIT SHIFT REGISTERS



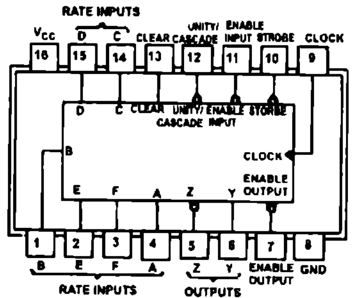
7495A
4-BIT SHIFT REGISTERS



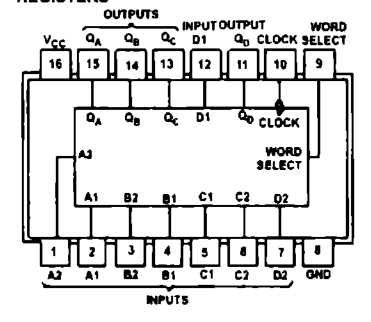
7496
5-BIT SHIFT REGISTERS



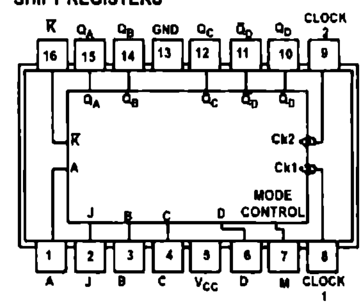
7497
SYNCHRONOUS 6-BIT BINARY RATE MULTIPLIERS



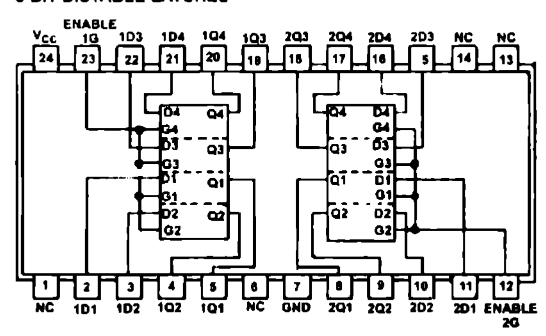
74L98
4-BIT DATA SELECTOR/STORAGE REGISTERS



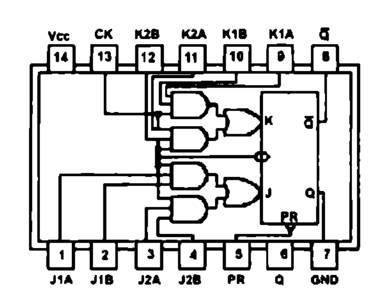
74L99
4-BIT BIDIRECTIONAL UNIVERSAL SHIFT REGISTERS



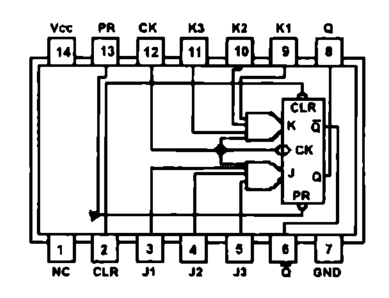
74100
8-BIT BISTABLE LATCHES



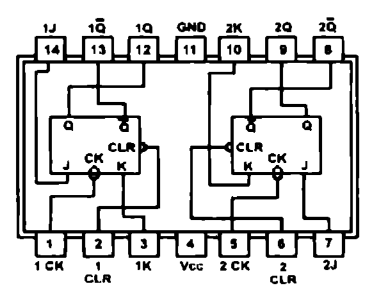
74H101
AND-OR-GATED J-K NEGATIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH PRESET



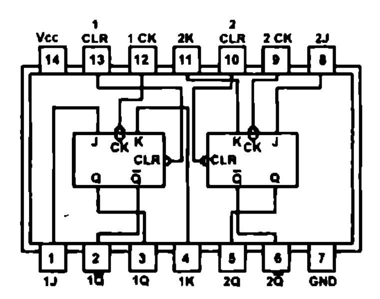
74H102
AND-GATED J-K NEGATIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH PRESET AND CLEAR



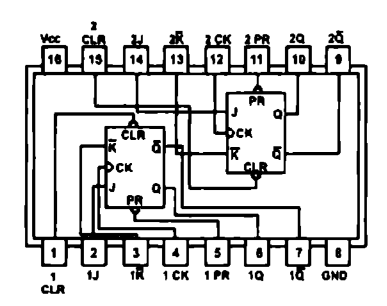
74H103
DUAL J-K NEGATIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR



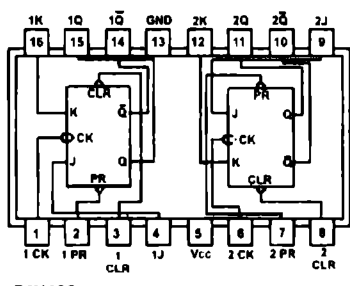
74107
DUAL J-K FLIP-FLOPS WITH CLEAR



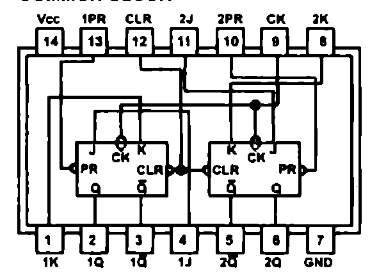
74109
DUAL J-K̄ POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH PRESET AND CLEAR



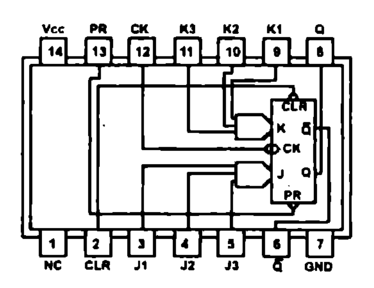
74H106
DUAL J-K NEGATIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH PRESET AND CLEAR



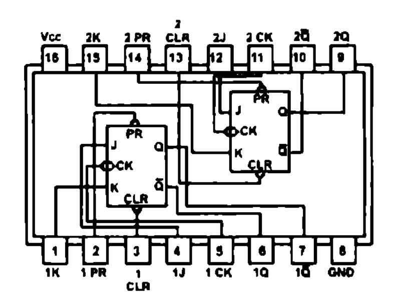
74H108
DUAL J-K NEGATIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH PRESET, COMMON CLEAR, AND COMMON CLOCK



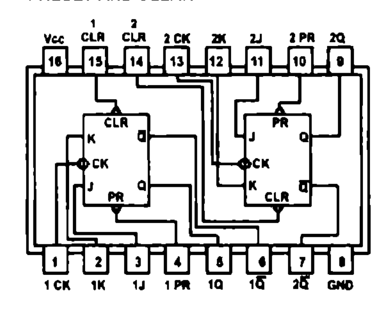
74110
AND-GATED J-K MASTER-SLAVE FLIP-FLOPS WITH DATA LOCKOUT



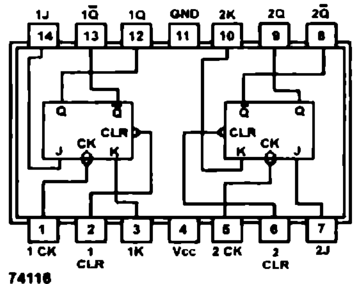
74111
DUAL J-K MASTER-SLAVE FLIP-FLOPS WITH DATA LOCKOUT



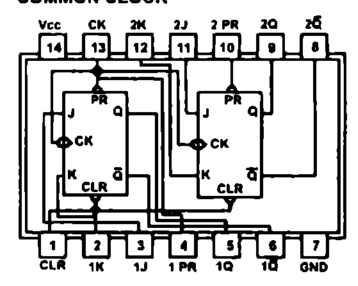
74LS112A
DUAL J-K NEGATIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH PRESET AND CLEAR



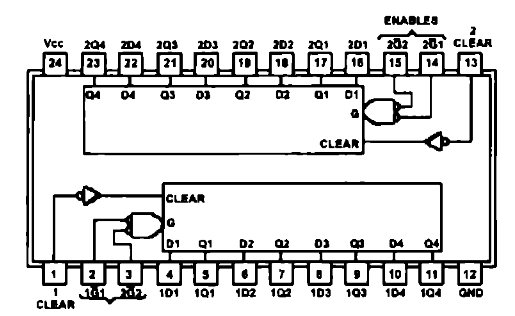
74H103
DUAL J-K NEGATIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR



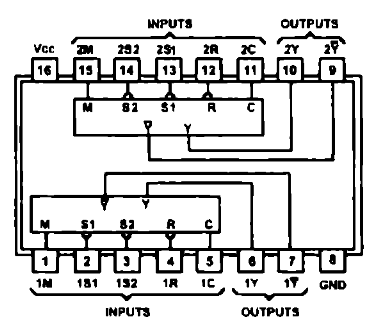
74LS114A
DUAL J-K NEGATIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH PRESET, COMMON CLEAR, AND COMMON CLOCK



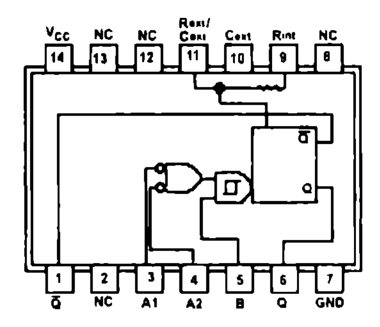
74116
DUAL 4-BIT LATCHES



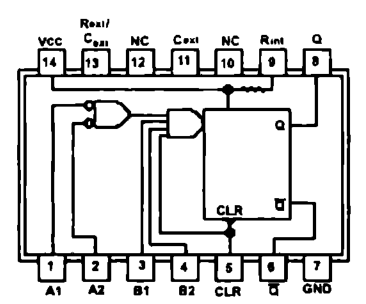
74120
DUAL PULSE SYNCHRONIZERS/DRIVERS



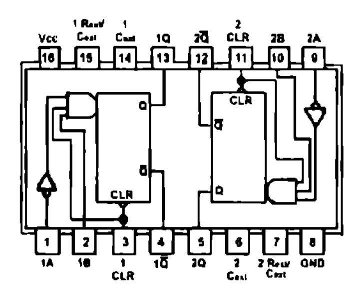
74121
MONOSTABLE MULTIVIBRATORS



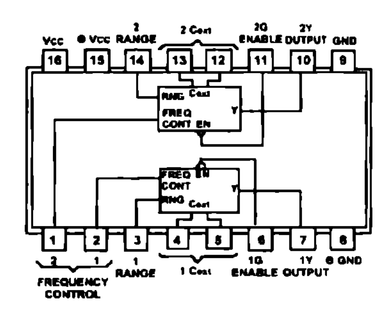
74122
RETRIGGERABLE MONOSTABLE MULTIBRATORS WITH CLEAR



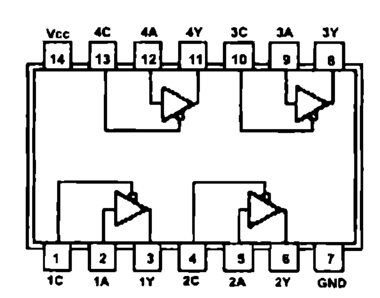
74123
DUAL RETRIGGERABLE MONOSTABLE MULTIVIBRATORS WITH CLEAR



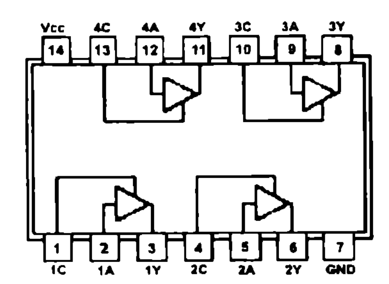
74LS124
DUAL VOLTAGE-CONTROLLED OSCILLATORS



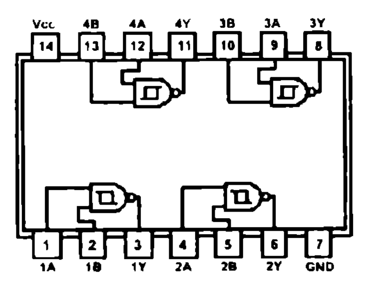
74125
QUARDRUPLE BUS BUFFER GATES WITH THREE-STATE OUTPUTS



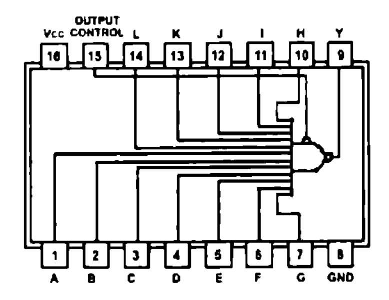
74126
QUARDRUPLE BUS BUFFER GATES WITH THREE-STATE OUTPUTS



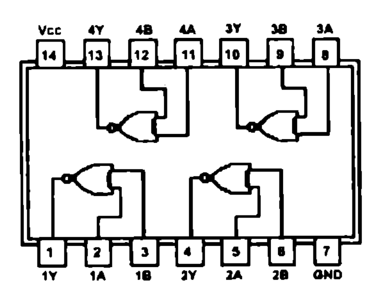
74132
QUARDRUPLE 2-INPUT POSITIVE-NAND SCHMITT TRIGGERS



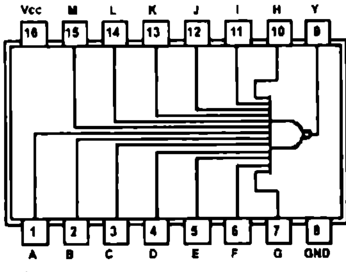
74S134
12-INPUT POSITIVE-NAND GATES WITH THREE-STATE OUTPUTS



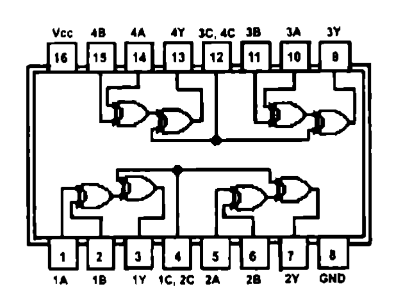
74128
SN74128 ... 50-OHM LINE DRIVERS



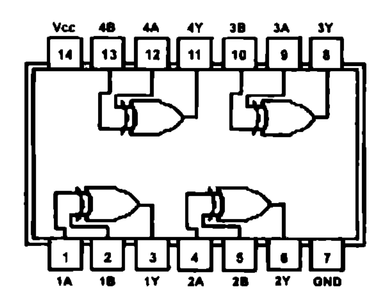
74S133
13-INPUT POSITIVE-NAND GATES



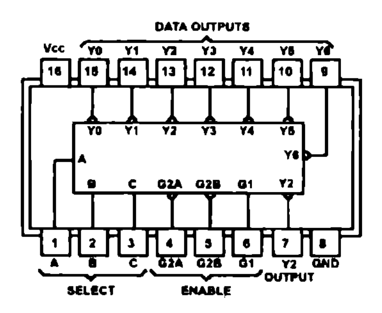
74S135
QUAD EXCLUSIVE-OR/NOR GATES



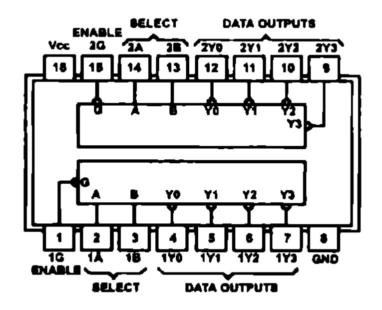
74136
QUAD EXCLUSIVE-OR GATES



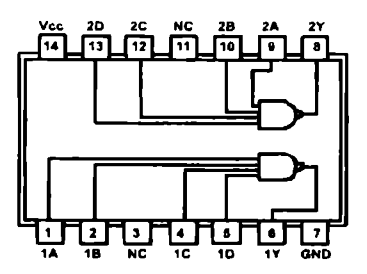
74LS138
3-TO-8 LINE DECODERS/ MULTIPLELEXERS



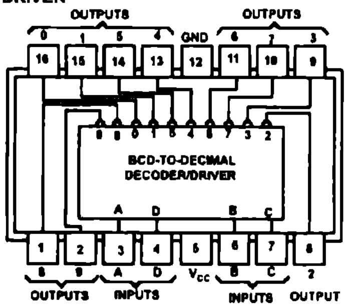
74LS139
DUAL 2-TO-4 LINE DECODERS/ MULTIPLELEXERS



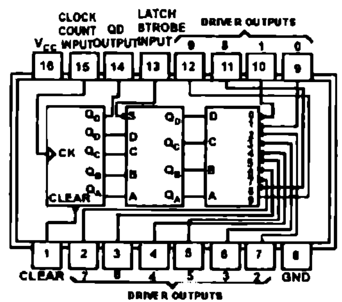
74S140
DUAL 4-INPUT POSITIVE-NAND 50-OHM LINE DRIVERS



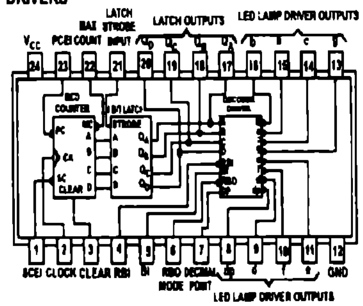
74141
BCD-TO-DECIMAL DECODER/ DRIVER



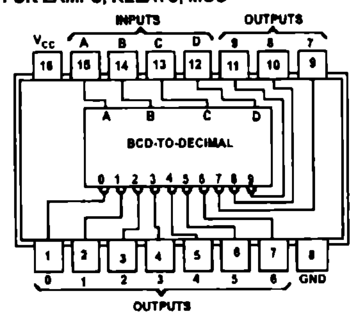
74142
COUNTER/LATCH/DECODER/ DRIVER



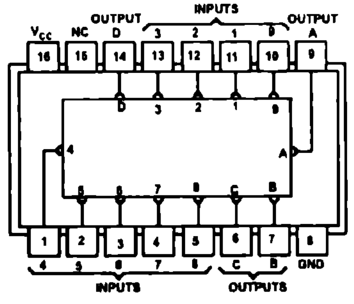
74143 74144
COUNTERS/LATCHES/DECODERS/ DRIVERS



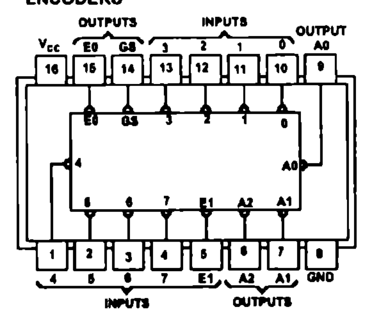
74145
BCD-TO- DECIMAL DECODERS/DRIVERS FOR LAMPS, RELAYS, MOS



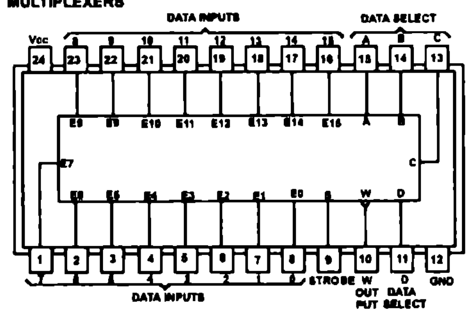
74147
10-LINE DECIMAL TO 4-LINE BCD PRIORITY ENCODERS



74148
8-LINE-TO-3-LINE OCTAL PRIORITY ENCODERS

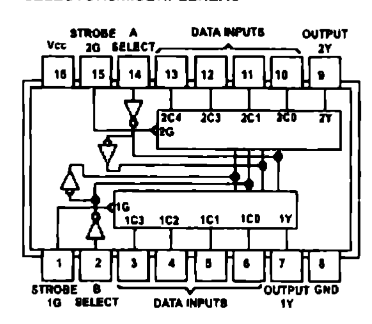


74150
1-OF-16 DATA SELECTORS/ MULTIPLEXERS

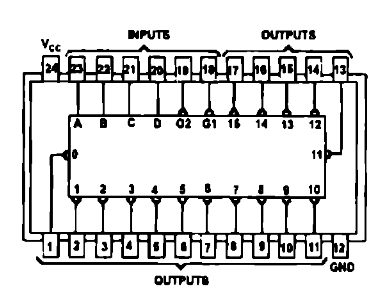


74151A
1-OF-8 DATA SELECTORS/MULTIPLEXERS

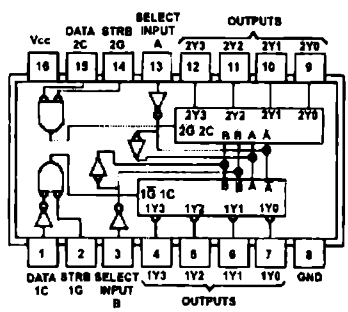
74153
DUAL 4-LINE TO 1-LINE DATA SELECTORS/MULTIPLEXERS



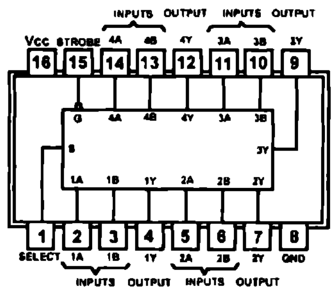
74154
4-LINE TO 16-LINE DECODERS/ DEMULTIPLEXERS



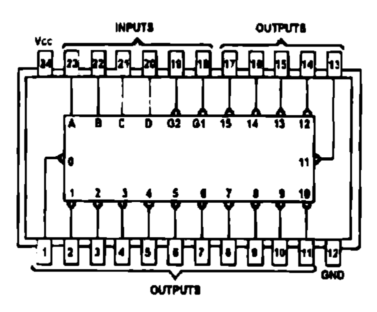
74155
CODERS/DEMULTIPLEXERS



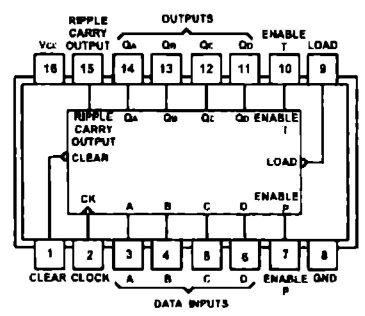
74157
QUAD 2 - TO 1- LINE DATA SELECTORS/MULTIPLEXERS



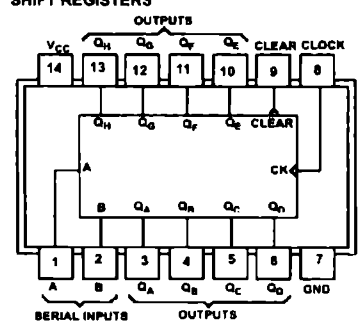
74159
4-TO 16-LINE DECODERS/ DEMULTIPLEXERS



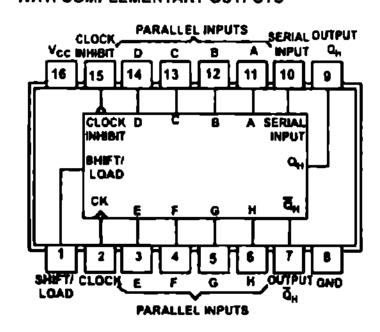
74160 74161 74162 74163
SYNCHRONOUS 4-BIT COUNTERS



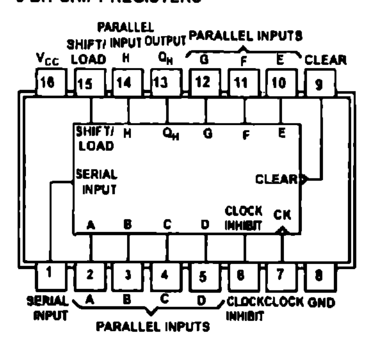
74164
8-BIT PARALLEL OUTPUT SERIAL SHIFT REGISTERS



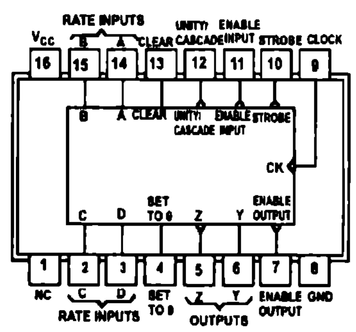
74165
PARALLEL-LOAD 8-BIT SHIFT REGISTERS WITH COMPLEMENTARY OUTPUTS



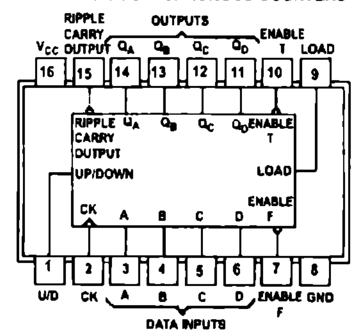
74166
8-BIT SHIFT REGISTERS



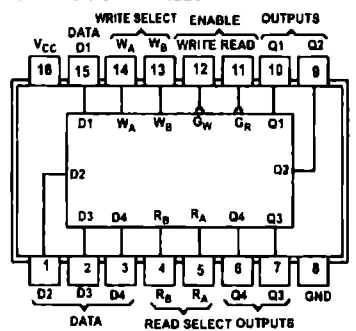
74167
SYNCHRONOUS DECADE RATE MULTIPLIERS



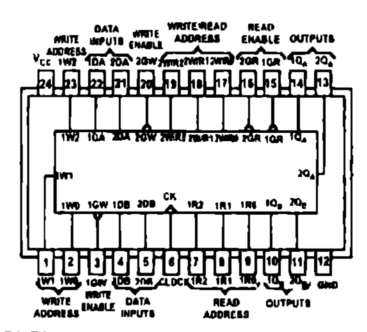
74S168 74S169
4-BIT UP/DOWN SYNCHRONOUS COUNTERS



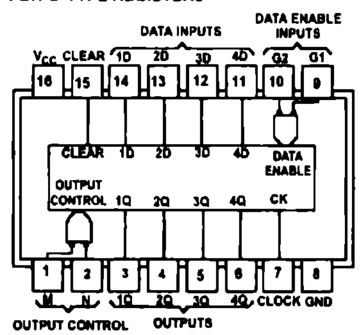
74170
4-BY-4 REGISTERS FILES



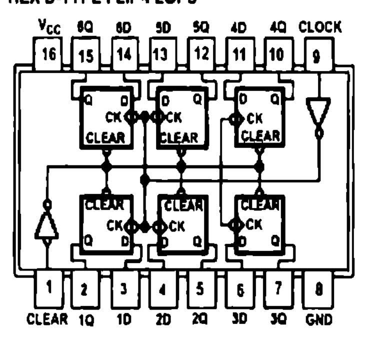
74172
16-BIT REGISTER FILE



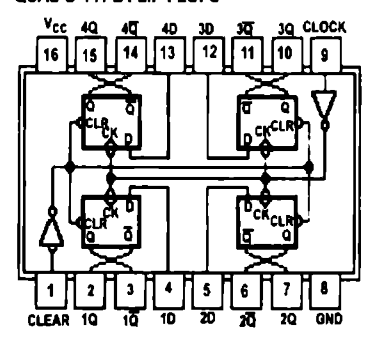
74173
4-BIT D-TYPE REGISTERS



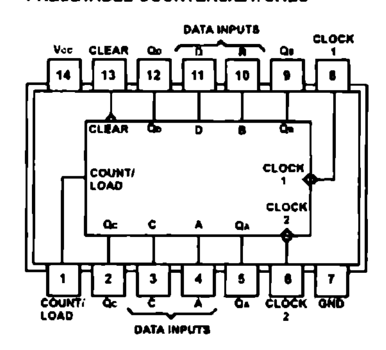
74174
HEX D-TYPE FLIP-FLOPS



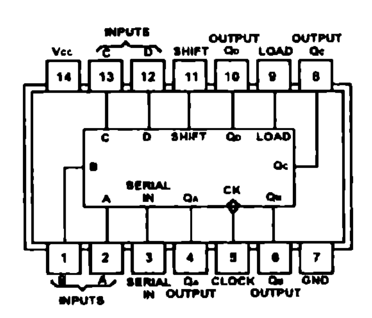
74175
QUAD D-TYPE FLIP-FLOPS



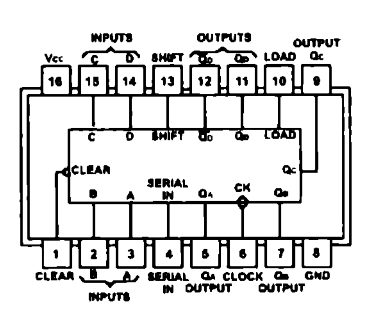
74176 74177
PRESETABLE COUNTERS/LATCHES



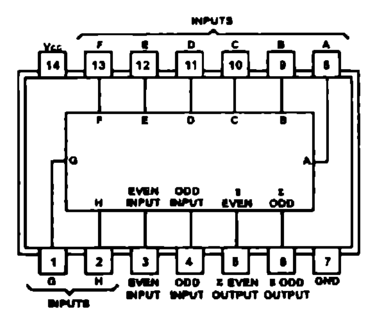
74178
4-BIT UNIVERSAL SHIFT REGISTERS



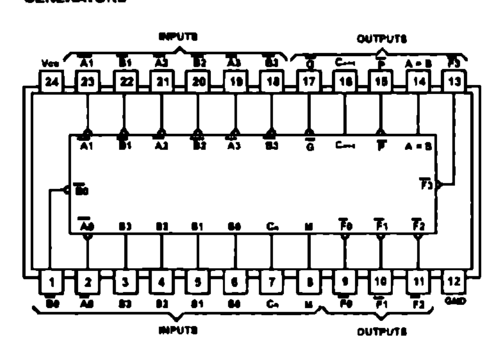
74179
4-BIT UNIVERSAL SHIFT REGISTERS



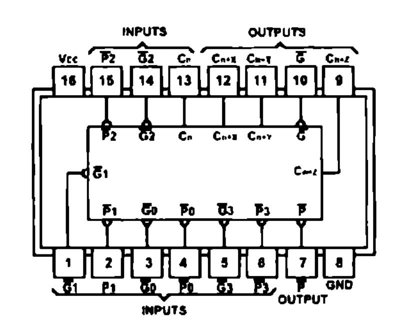
74180
9-BIT ODD/EVEN PARITY GENERATORS/CHECKERS



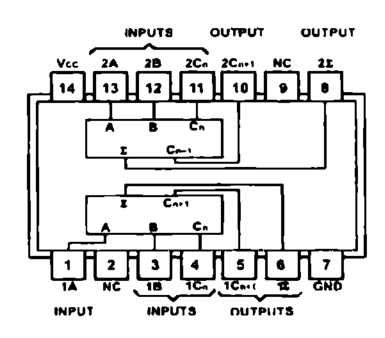
74181
ARITHMETIC LOGIC UNITS/FUNCTION GENERATORS



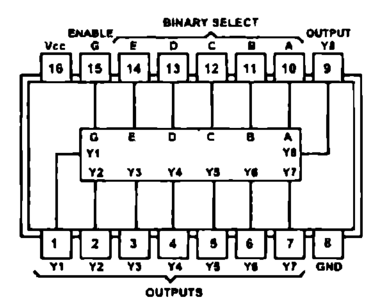
74182
LOOK-AHEAD CARRY GENERATORS



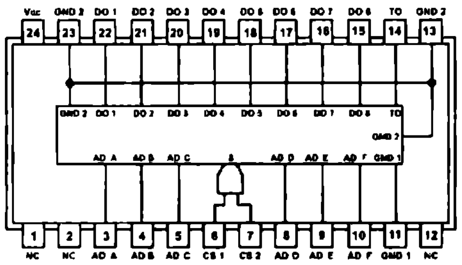
74LS183
DUAL CARRY-SAVE FULL ADDERS



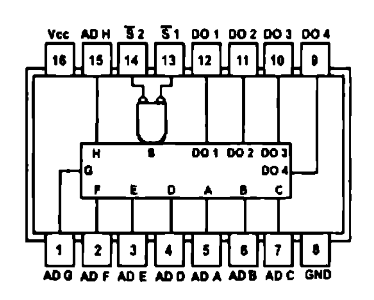
74184 74185A
CODE CONVERTERS



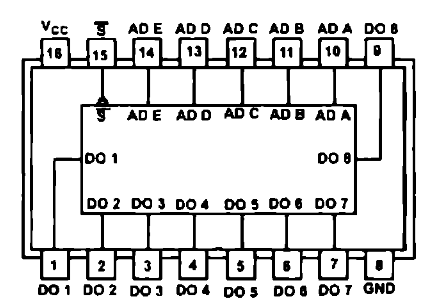
74186
512-BIT PROGRAMABLE READ-ONLY MEMORIES



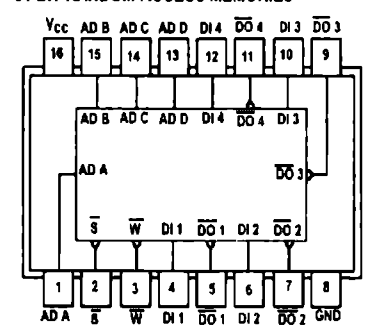
74187
1024-BIT READ-ONLY MEMORIES



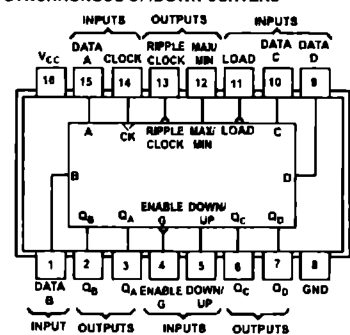
74188A
256-BIT PROGRAMMABLE READ-ONLY MEMORIES



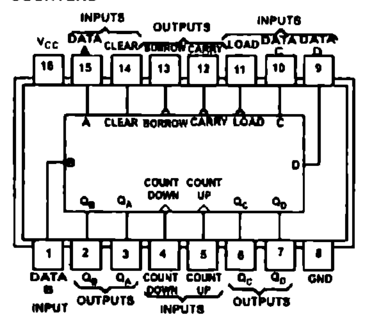
74S189
64-BIT RANDOM-ACCESS MEMORIES



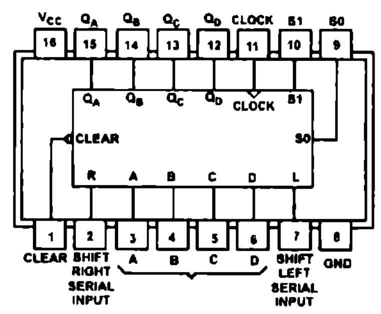
74190 74191
SYNCHRONOUS UP/DOWN CUNTERS



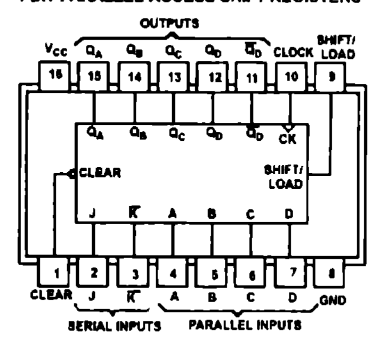
74192 74193
SYNCHRONOUS UP/DOWN DUAL CLOCK COUNTERS



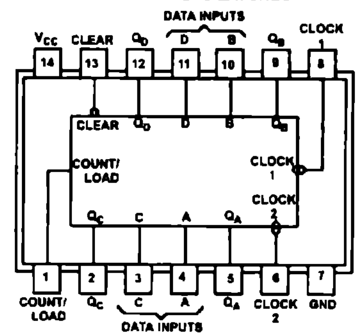
74194
4-BIT BIDIRECTIONAL UNIVERSAL SHIFT REGISTERS



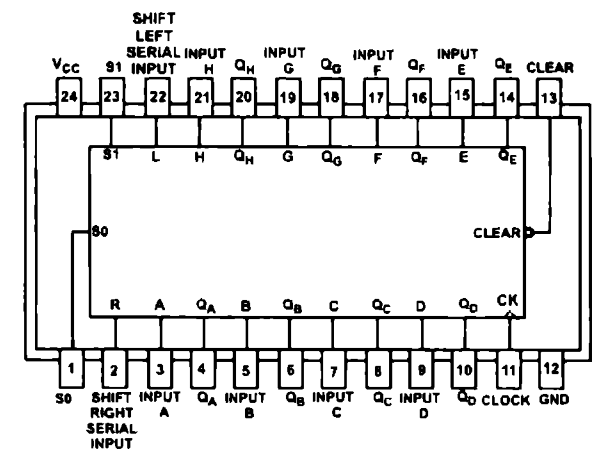
74195
4-BIT PARALLEL-ACCESS SHIFT REGISTERS



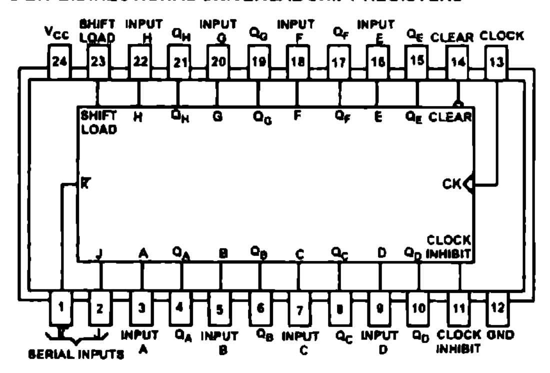
74196 74197
PRESETABLE COUNTERS/LATCHES



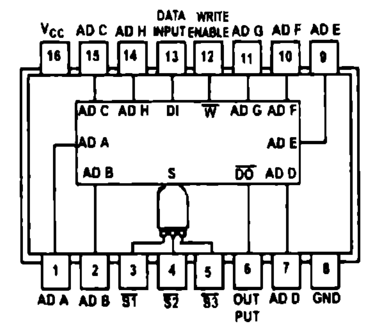
74198
8-BIT BIDIRECTIONAL UNIVERSAL SHIFT REGISTERS



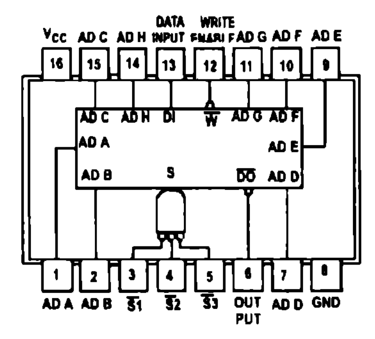
74199
8-BIT BIDIRECTIONAL UNIVERSAL SHIFT REGISTERS



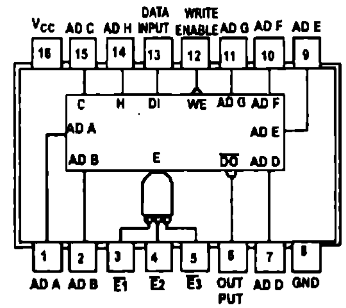
74LS200A
256-BIT RANDOM-ACCESS MEMORIES



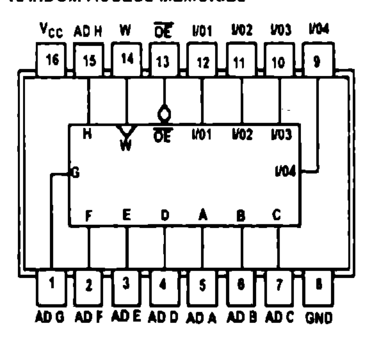
74S201
256-BIT RANDOM-ACCESS MEMORIES



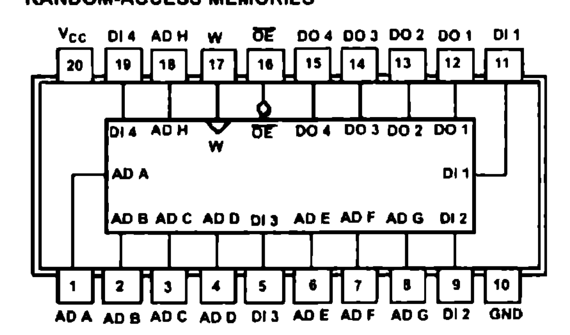
74LS202
256-BIT READ/WRITE MEMORIES WITH POWER DOWN



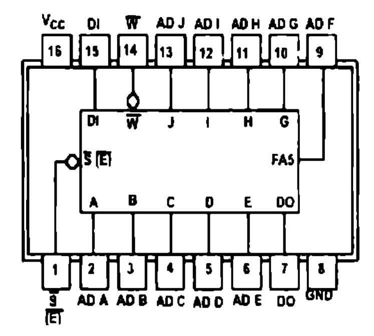
74LS207
RANDOM-ACCESS MEMORIES



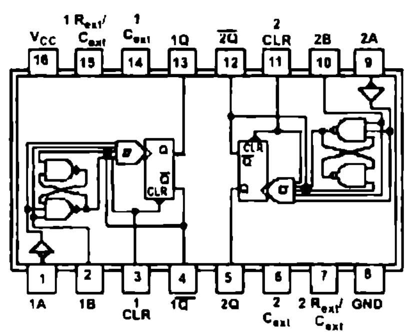
74LS208
RANDOM-ACCESS MEMORIES



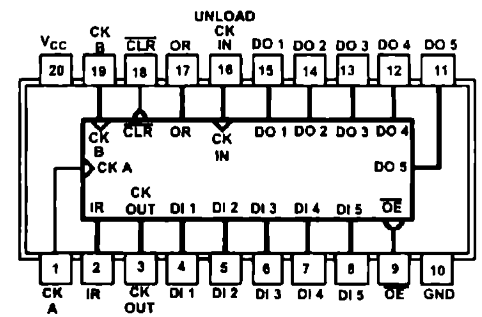
74LS214 74LS215
RANDOM-ACCESS MEMORIES



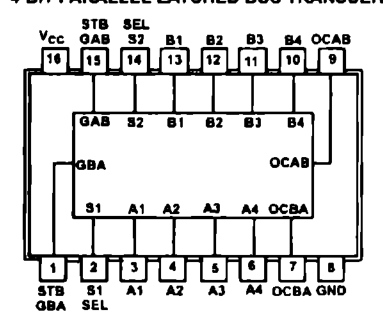
74221
DUAL MONOSTABLE MULTIVIBRATORS



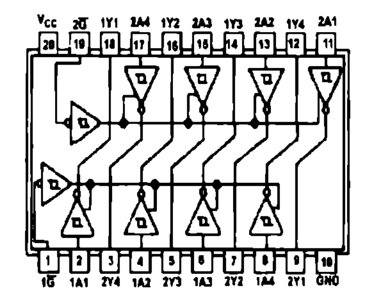
74S225
ASYNCHRONOUS FIRST IN, FIRST OUT MEMORIES



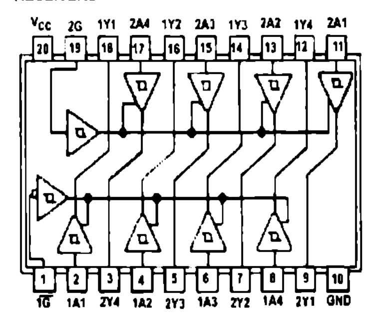
74S226
4-BIT PARALLEL LATCHED BUS TRANSCEIVERS



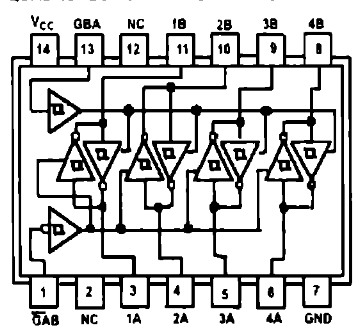
74LS240
OCTAL BUFFERS/LINE DRIVERS/LINE RECEIVERS



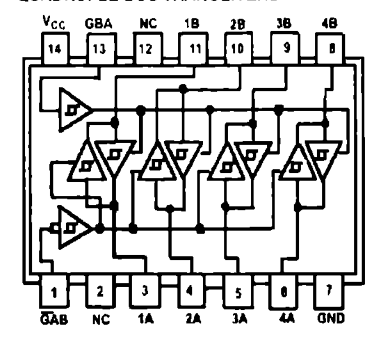
74LS241
OCTAL BUFFERS/LINE DRIVERS/LINE RECEIVERS



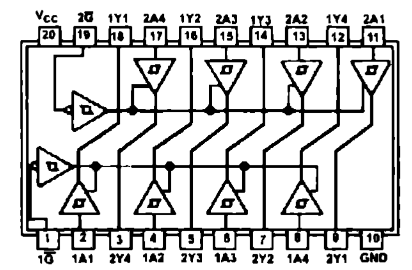
74LS242
QUADRUPLE BUS TRANSCEIVERS



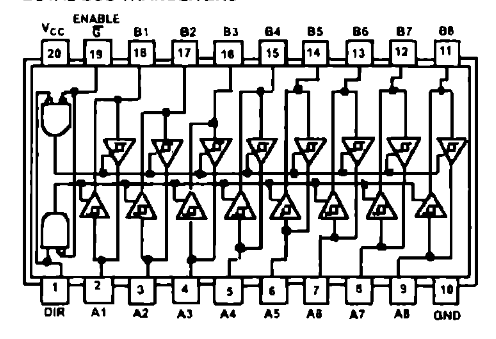
74LS243
QUADRUPLE BUS TRANCEIVERS



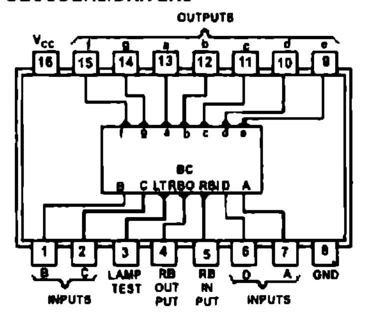
74LS244
OCTAL BUFFERS/LINE DRIVERS /LINS RECEIVERS



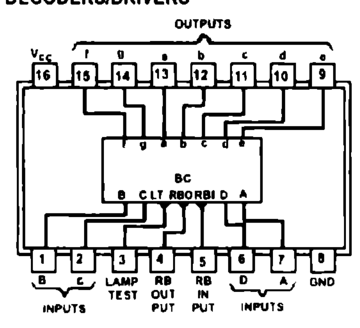
74LS245
OCTAL BUS TRANCEIVERS



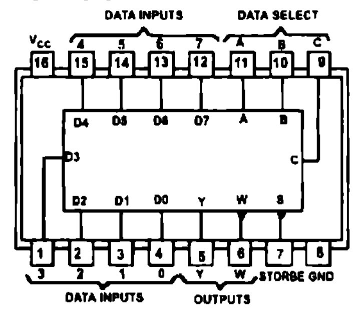
74246 74247
BCD-TO-SEVEN-SEGMENT DECODERS/DRIVERS



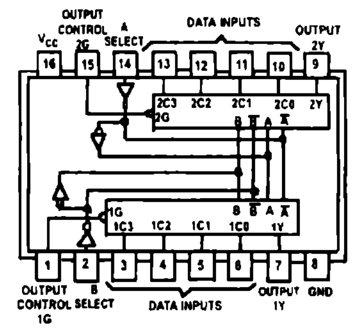
74248 74249
BCD-TO-SEVEN-SEGMENT DECODERS/DRIVERS



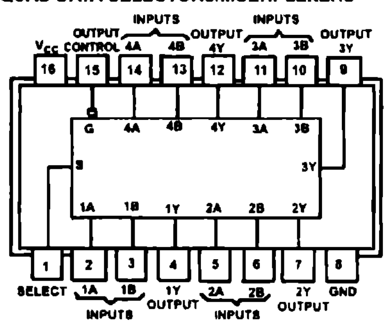
74251
DATA SELECTORS MULTIPLEXERS



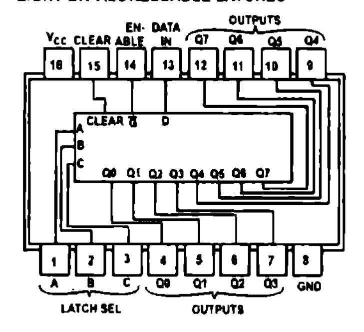
74LS253
DUAL DATA SELECTORS/MULTIPLEXERS



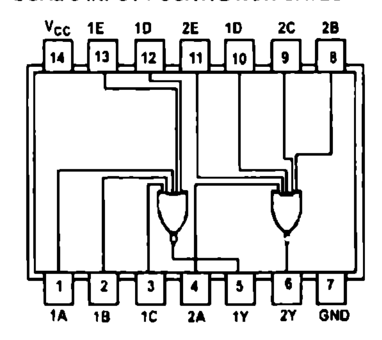
74LS257A
QUAD DATA SELECTORS/MULTIPLEXERS



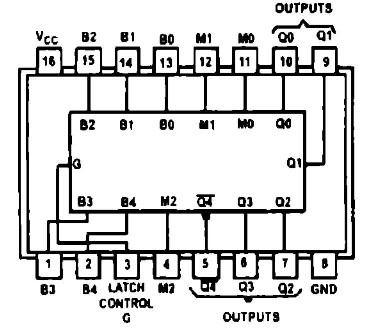
74259
EIGHT-BIT ADDRESSABLE LATCHES



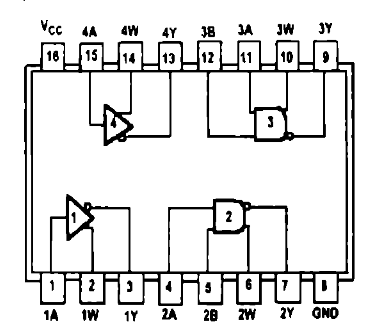
74S260
DUAL 5-INPUT POSITIVE NOR GATES



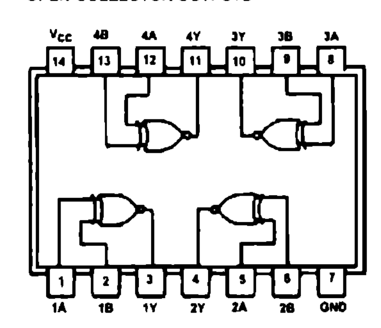
74LS261
2-BIT BY 4-BIT PARALLEL BINAR MULTIPLIERS



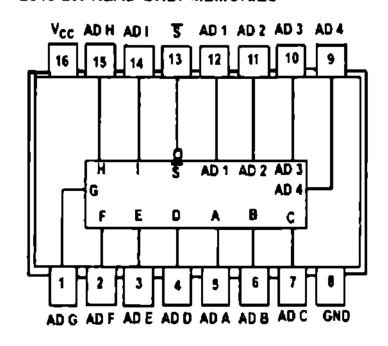
74265
QUAD COMPLEMENTARY-OUTPUT ELEMENTS



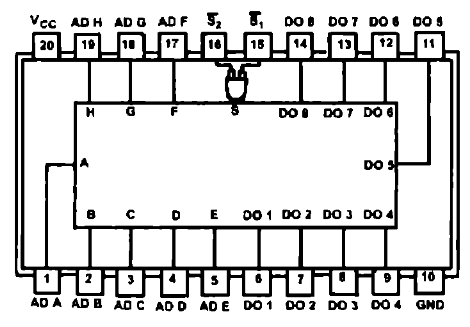
74LS266
QUAD 2-INPUT EXCLUSIVE-NOR GATES WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS



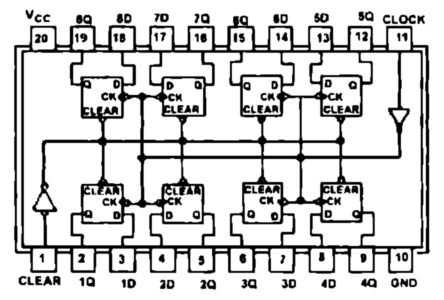
74S270
2048-BIT READ-ONLY MEMORIES



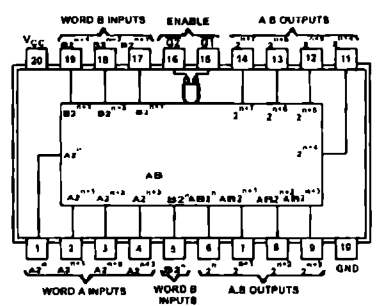
74S271
2048-BIT READ-ONLY MEMORIES



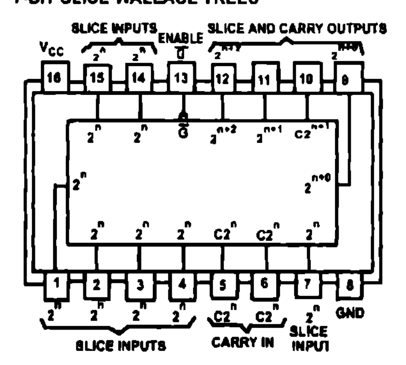
74273
OCTAL D-TYPE FLIP-FLOP



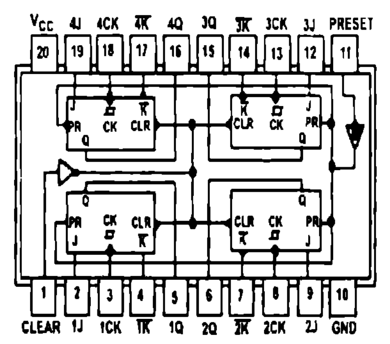
74S274
4-BIT BY 4-BIT BINARY MULTIPLIERS



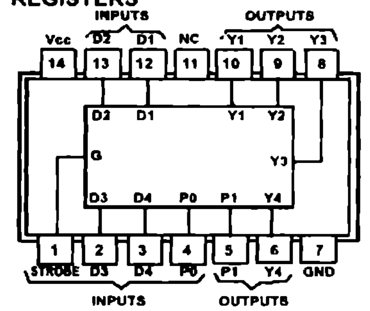
74LS275
7-BIT SLICE WALLACE TREES



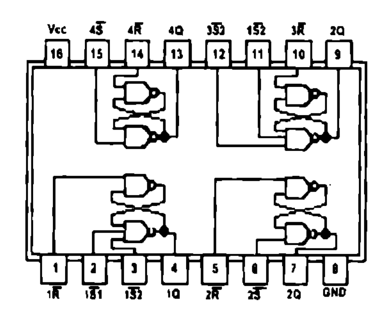
74276
QUAD J-K FLIP-FLOPS



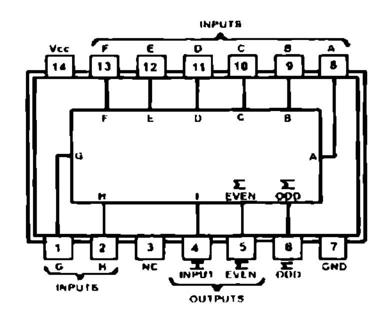
74278
4-BIT CASCADEABLE PRIORITY REGISTERS



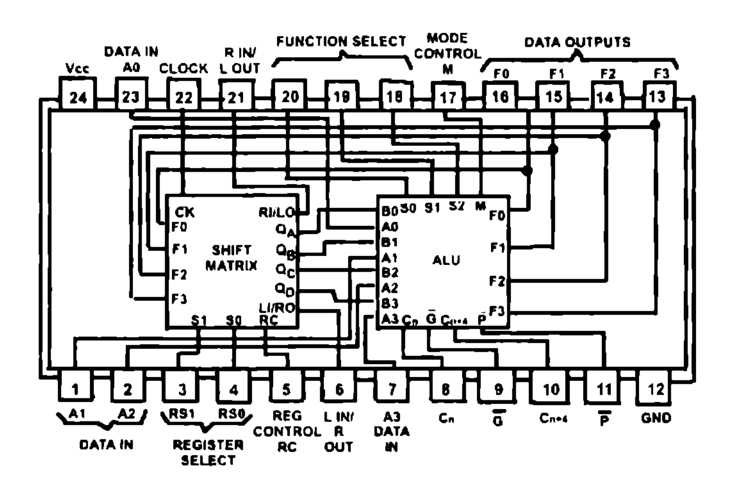
74279
QUAD S-R LATCHES



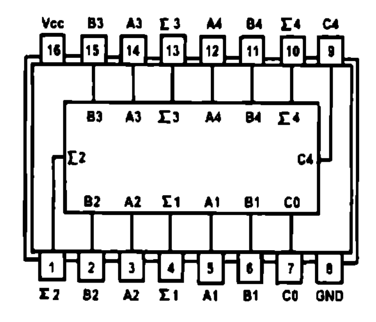
74LS280
9-BIT ODD/EVEN PARITY GENERATORS/CHECKERS



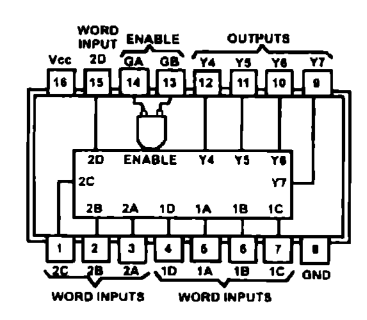
74S281
4-BIT PARALLEL BINARY ACCUMALTORS



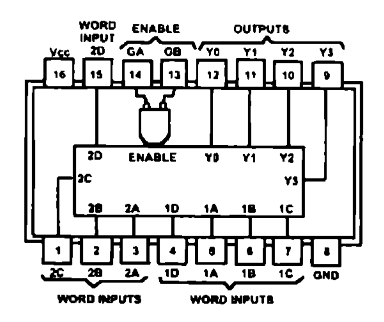
74283
4-BIT BINARY FULL ADDERS



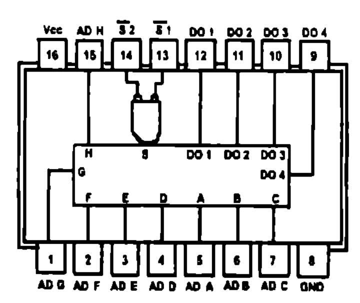
74284
4-BIT-BY-4-BIT PARALLEL BINARY MULTIPLIERS USED WITH '285



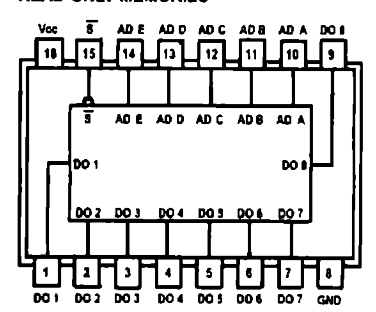
74285
4-BIT-BY-4-BIT PARALLEL BINARY MULTIPLIERS USED WITH '284



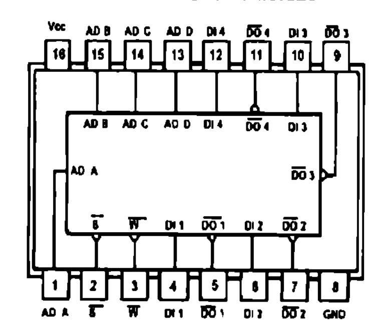
74S287
1024-BIT PROGRAMMABLE READ-ONLY MEMORIES



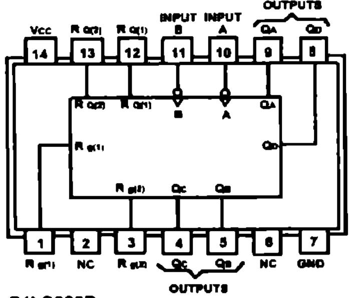
74S288
256-BIT PROGRAMMABLE READ-ONLY MEMORIES



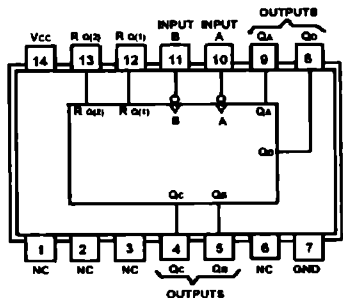
74S289
64-BIT RANDOM-ACCESS MEMORIES



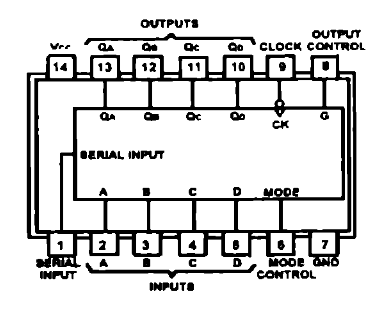
74290
DECADE COUNTERS



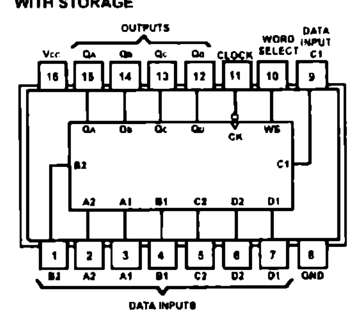
74293
4-BIT BINARY COUNTERS



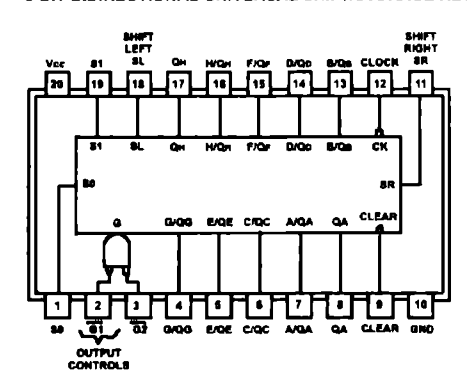
74LS295B
4-BIT BIDIRECTIONAL UNIVERSAL SHIFT REGISTERS



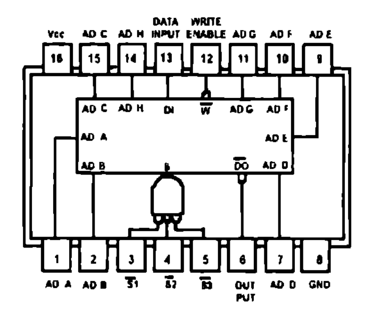
74298
QUAD 2-INPUT MULTIPLEXERS WITH STORAGE



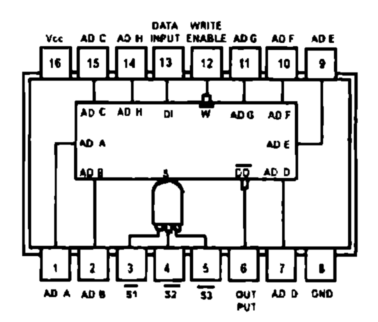
74LS299
8-BIT BIDIRECTIONAL UNIVERSAL SHIFT/STORAGE REGISTERS



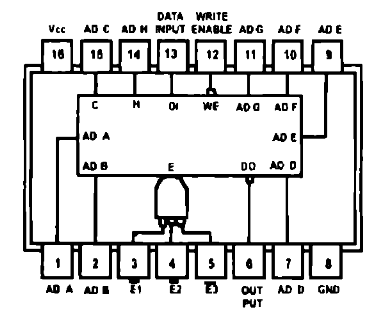
74LS300A
256-BIT READ/WRITE MEMORIES



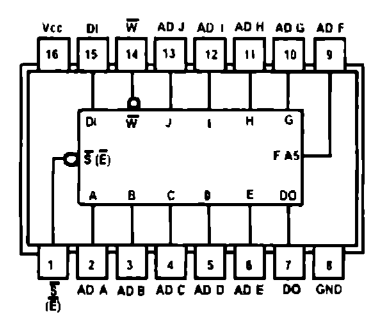
74S301
256-BIT RANDOM ACCESS MEMORIES



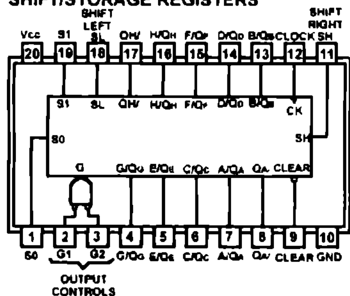
74LS302
256-BIT READ/WRITE MEMORIES



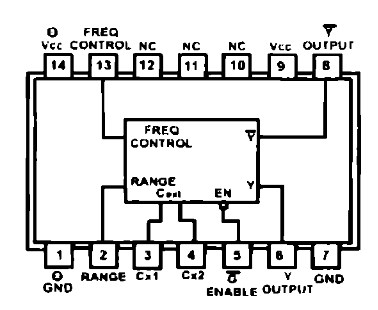
74LS314 74LS315
1024-BIT RANDOM-ACCESS MEMORIES



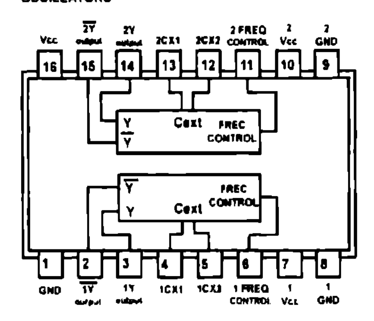
74LS323
8-BIT BIDIRECTIONAL UNIVERSAL SHIFT/STORAGE REGISTERS



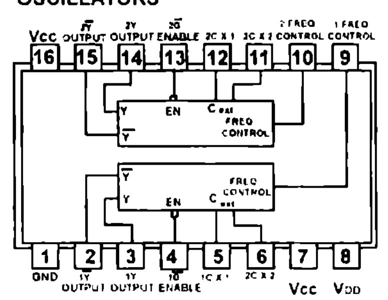
74LS324
VOLTAGE-CONTROLLED OSCILLATORS



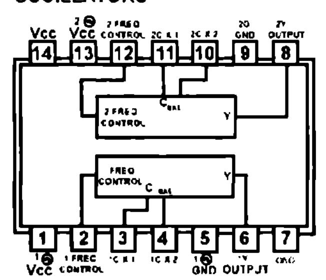
74LS326
DUAL VOLTAGE-CONTROLED OSCILLATORS



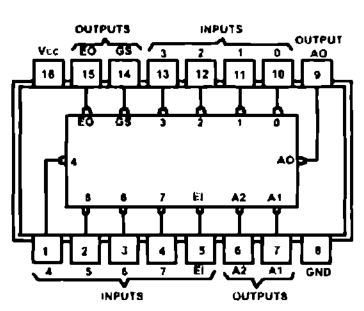
74LS326
DUAL VOLTAGE-CONTROLLED OSCILLATORS



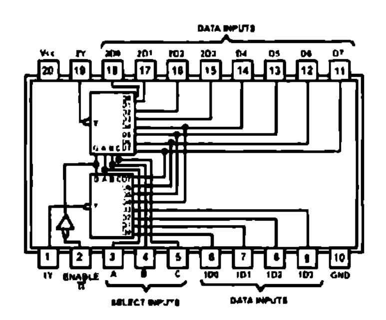
74LS327
DUAL VOLTAGE-CONTROLLED OSCILLATORS



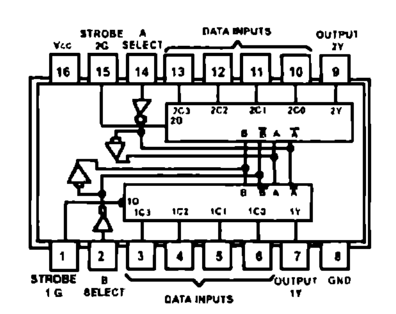
74LS348
8-LINE-TO-3-LINE PRIORITY ENCODERS



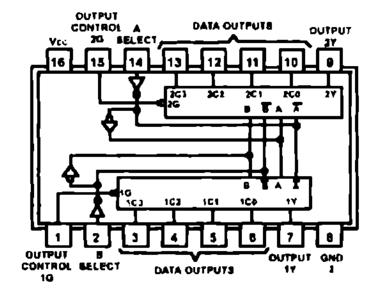
74351
DUAL 8-LINE-TO-1-LINE DATA SELECTORS/MULTIPLEXERS



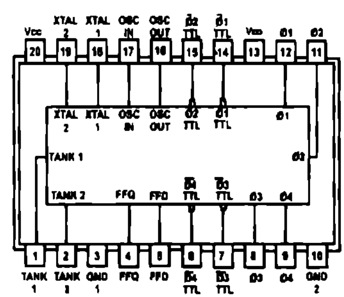
74LS352
DUAL 4-LINE-TO-LINE DATA SELECTORS/MULTIPLEXERS



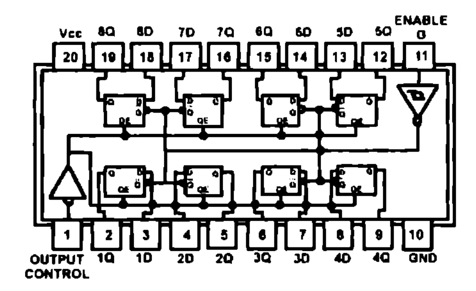
74LS353
DUAL 4-LINE-TO-1-LINE DATA SELECTORS/MULTIPLEXERS



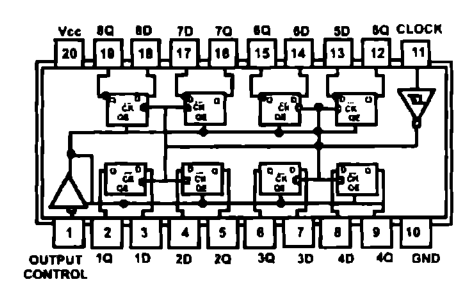
74LS362
FOUR-PHASE CLOCK GENERATOR/DRIVER FOR TMS 9900 MICROPROCESSOR



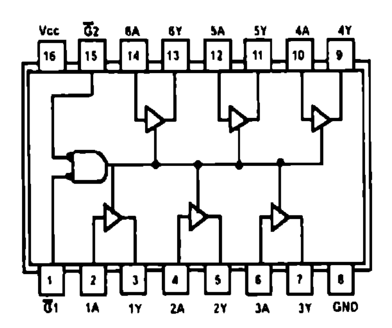
74LS363
OCTAL D-TYPE LATCHES



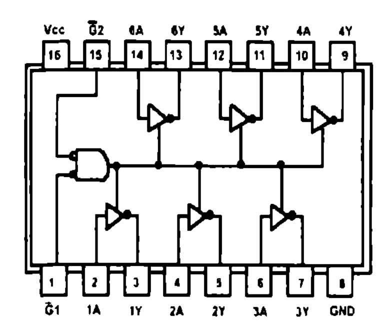
74LS364
OCTAL D-TYPE FLIP-FLOPS



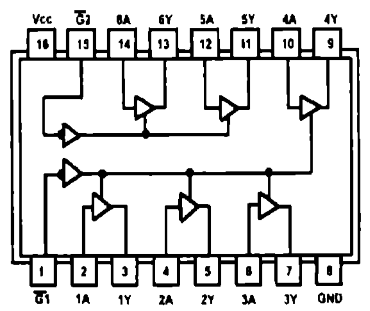
74365A
HEX BUS DRIVERS



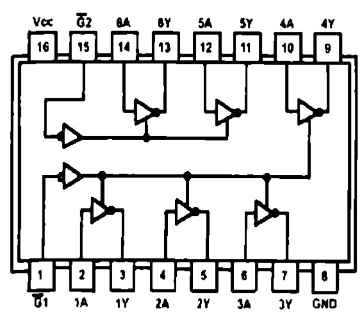
74366A
HEX BUS DRIVERS



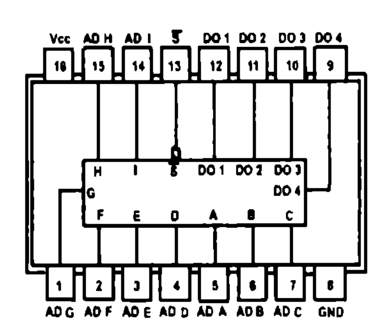
74367A
HEX BUS DRIVERS



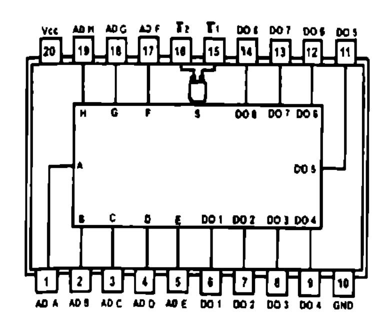
74368A
HEX BUS DRIVERS



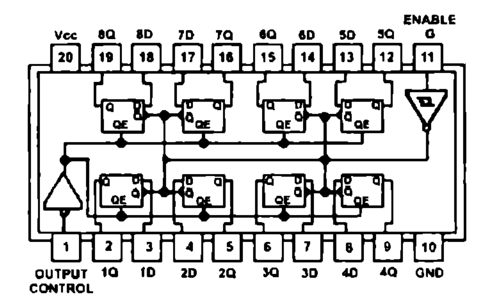
74S370
2048-BIT READ-ONLY MEMORIES



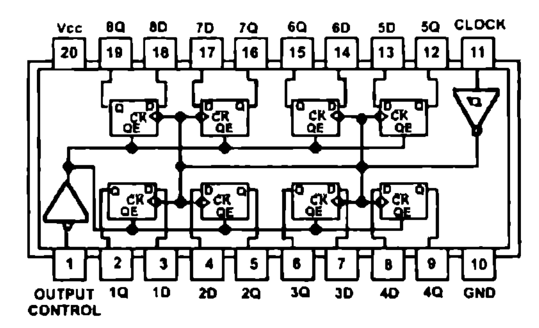
74S371
2048-BIT READ-ONLY MEMORIES



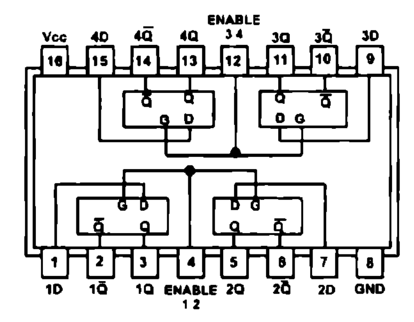
74LS373
OCTAL D-TYPE LATCHES



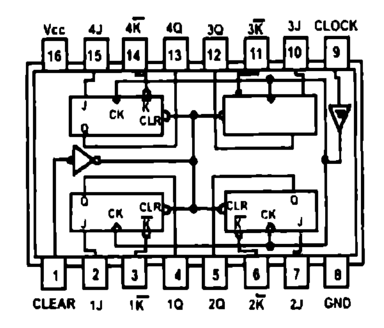
74LS374
OCTAL D-TYPE FLIP-FLOPS



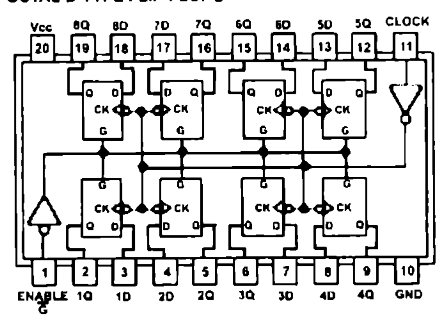
74LS375
4-BIT BISTABLE LATCHES



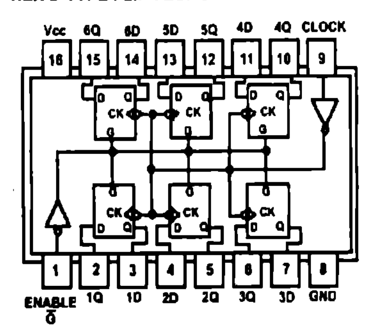
74376
QUAD J-K̄ FLIP-FLOPS



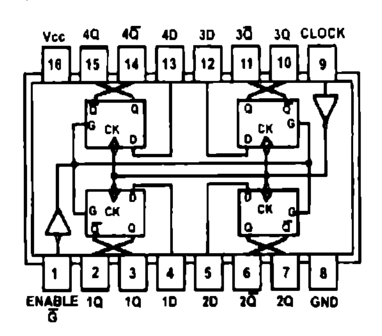
74LS377
OCTAL D-TYPE FLIP-FLOPS



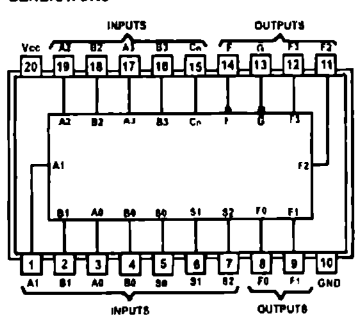
74LS378
HEX D-TYPE FLIP-FLOPS



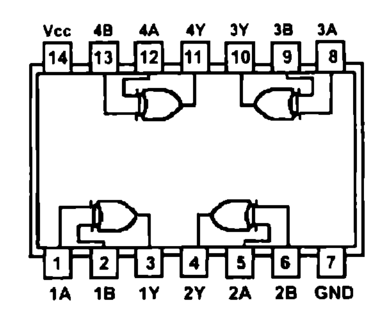
74LS379
QUAD D-TYPE FLIP-FLOPS



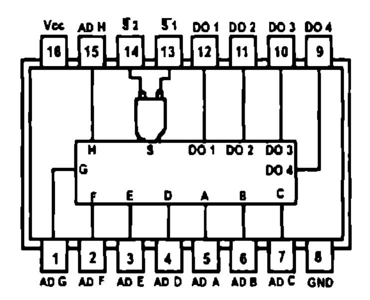
74S381
ARITHMATIC LOGIC UNITS/FUNCTION GENERATORS



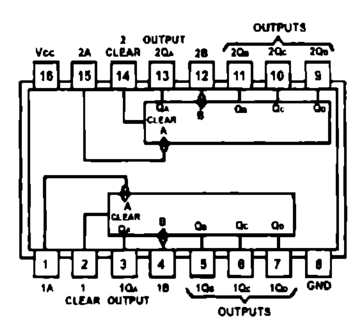
74LS386
QUAD 2-INPUT EXCLUSIVE-OR GATES



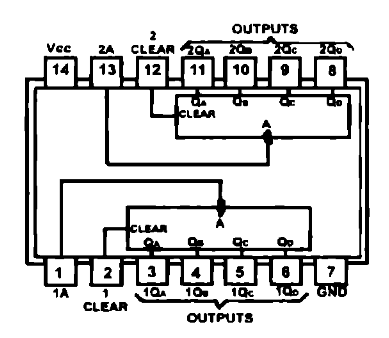
74S387
1024-BIT PROGRAMMABLE READ-ONLY MEMORIES



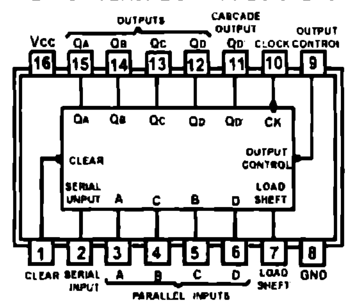
74390
DUAL DECADE COUNTERS



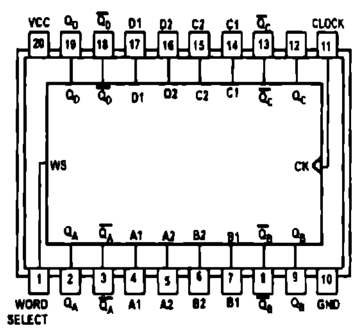
74393
DUAL 4-BIT BINARY COUNTERS



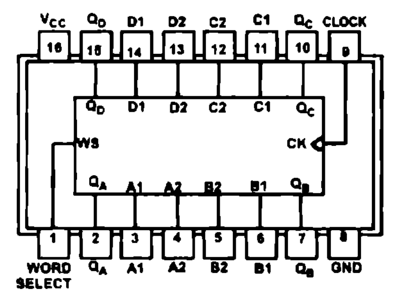
74LS395A
4-BIT UNIVERSAL SHIFT REGISTERS



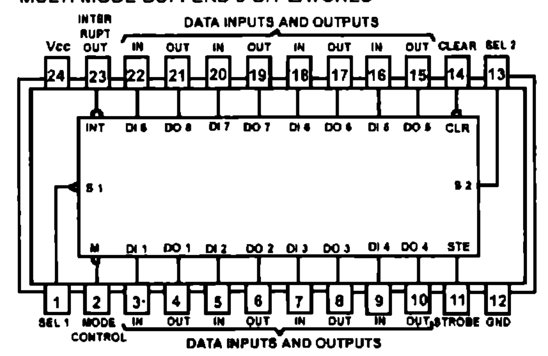
74LS398
QUAD 2-INPUT MULTIPLEXERS WITH STORAGE



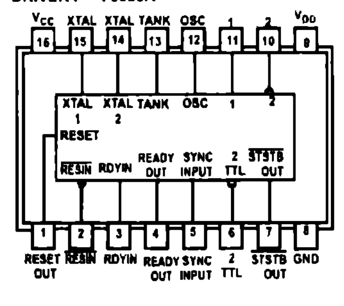
74LS399
QUAD 2-INPUT MULTIPLEXERS WITH STORAGE



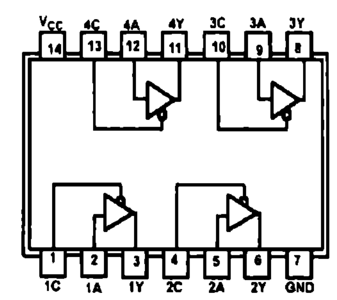
74S412
MULTI-MODE BUFFERD 8-BIT LATCHES



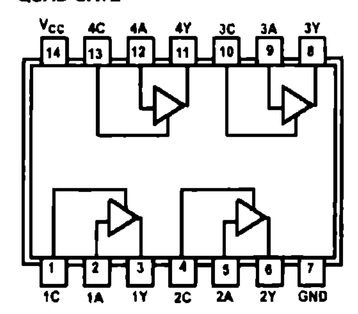
74LS424
TWO-PHASE CLOCK GENERATE/ DRIVER FOR 8080A



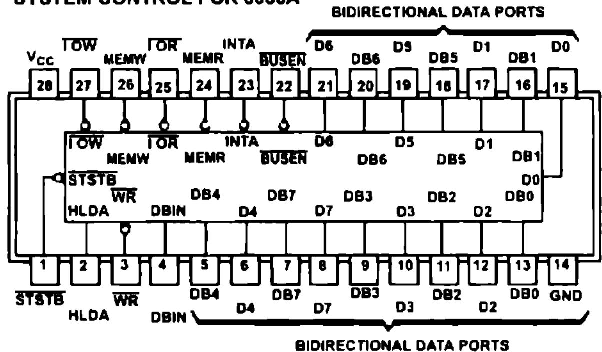
74425
QUAD GATE



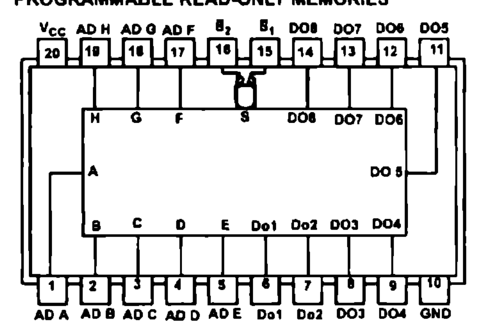
74426
QUAD GATE



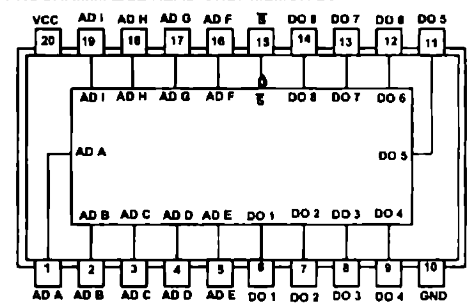
74S428 74S438
SYSTEM CONTROL FOR 8080A



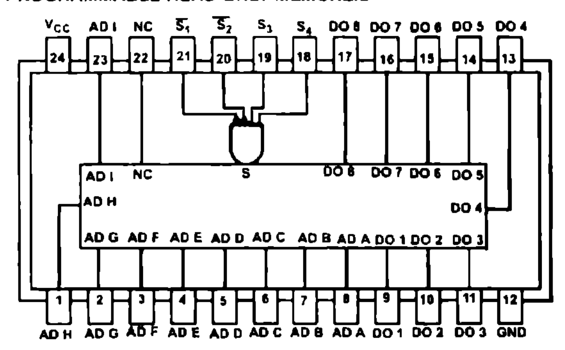
74S470 74S471
PROGRAMMABLE READ-ONLY MEMORIES



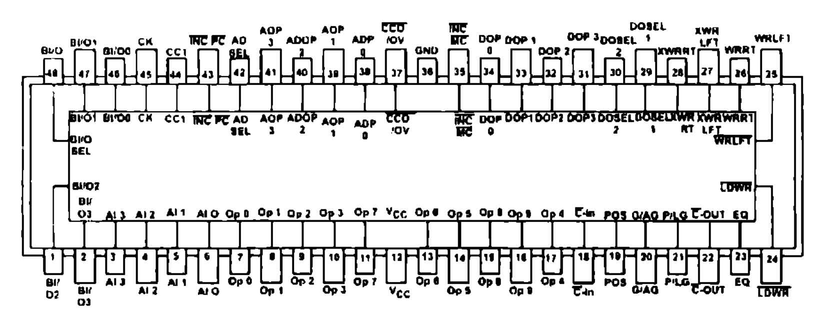
74S472 74S473
PROGRAMMABLE READ-ONLY MEMORIES



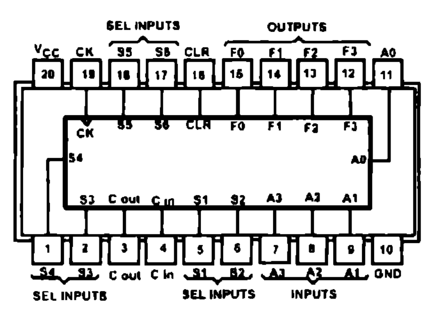
74S474 74S475
PROGRAMMABLE READ-ONLY MEMOREIS



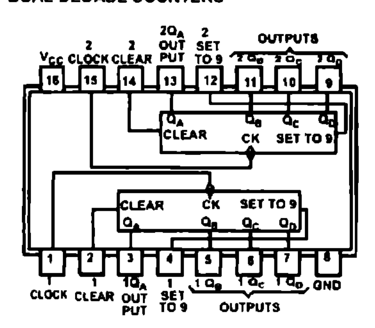
74S481
4-BIt SLICE PROCESSOR ELEMENTS



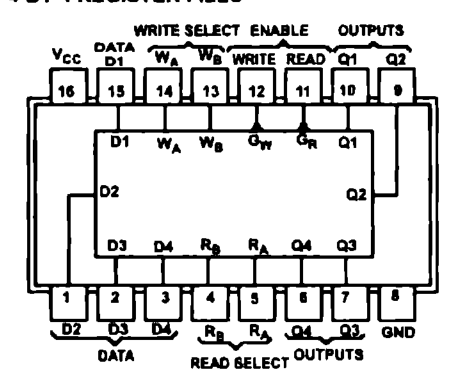
74S482
4-BIt SLICE EXPANDABLE CONTROL ELEMENTS



74490
DUAL DECADE COUNTERS



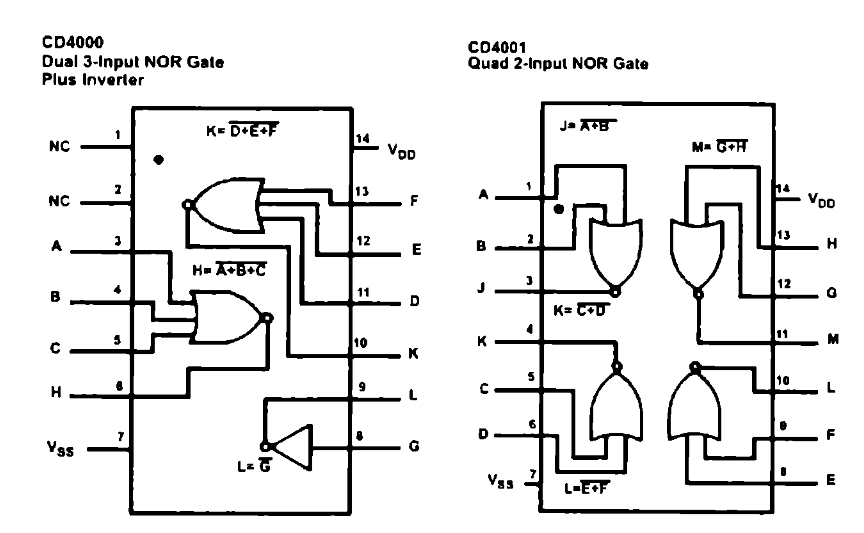
74S670
4-BY-4 REGISTER FILES



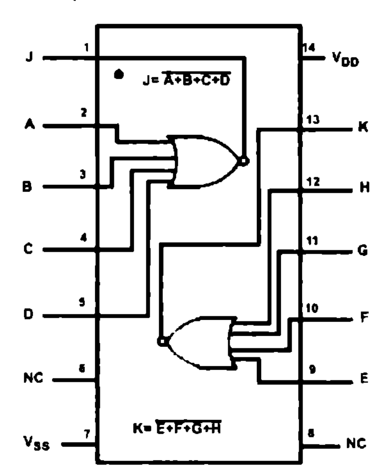
الملحق / E /

توزيع أرجل الدارات المتكاملة الرقمية نوع CMOS

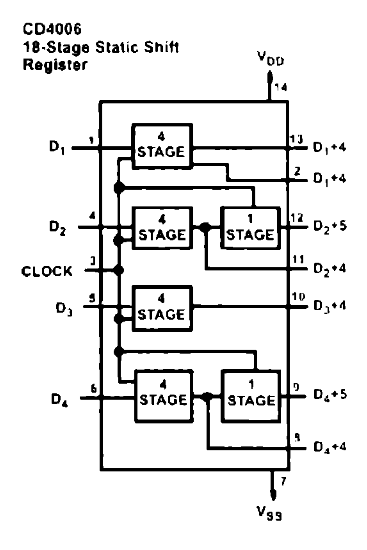
CMOS Pinouts



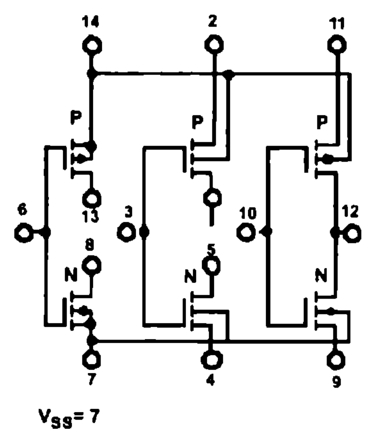
CD4002
Quad 4-Input NOR Gate



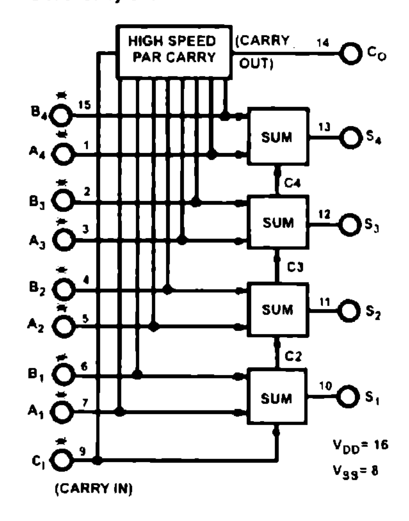
CD4006
18-Stage Static Shift Register



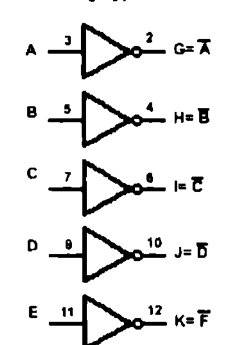
CD4007
Dual Complementary Pair Plus Inverter



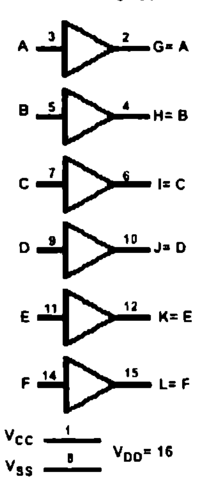
CD4008
4-Bit Full Adder with Parallel Carry Out



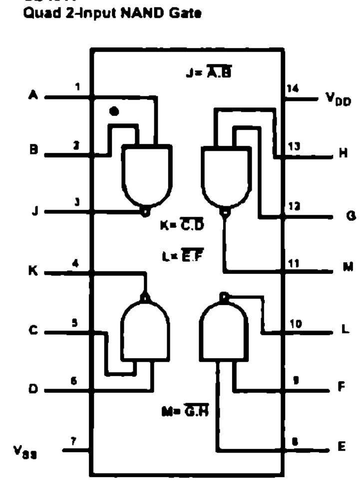
CD4009
Hex Buffer/Converter
Inverting Type



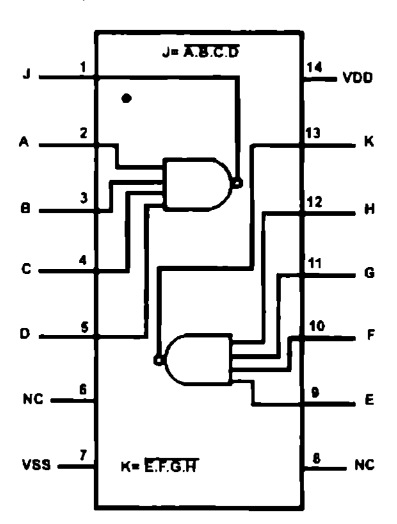
CD4010
Hex Buffer/Converter
Non-Inverting Type



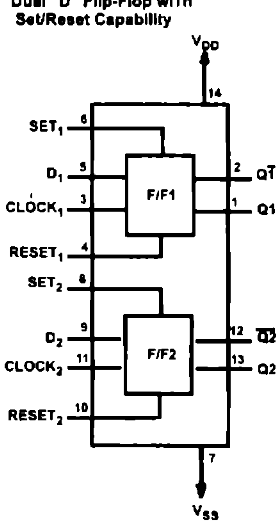
CD4011
Quad 2-Input NAND Gate



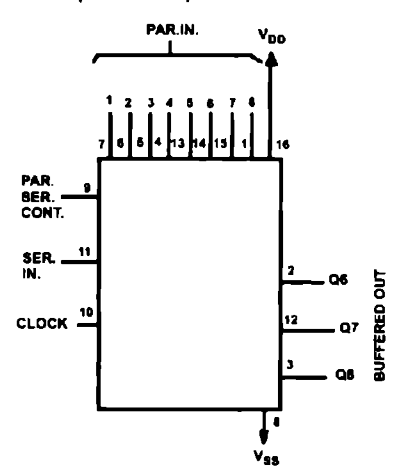
Cd4012
Dual 4-Input NAND Gate



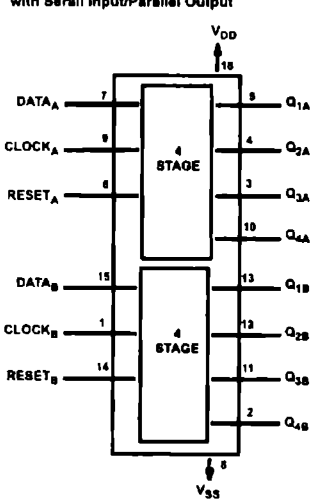
CD4013
Dual "D" Flip-Flop with Set/Reset Capability



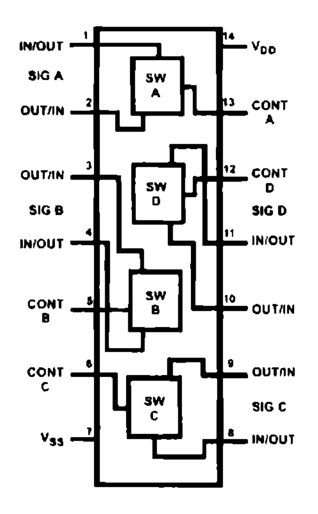
CD4014
8-Stage Synchronous Shift Register with Parallel or Serall Input/Serall Output



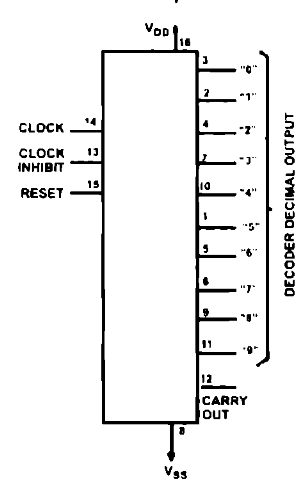
CD4015
Dual 4-Stage Static Shift Register with Serall Input/Parallel Output



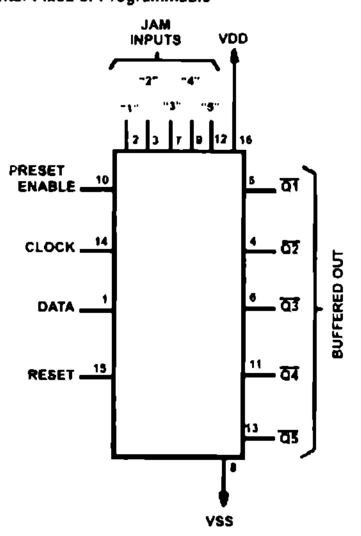
Cd4016
Quad Bilateral Switch



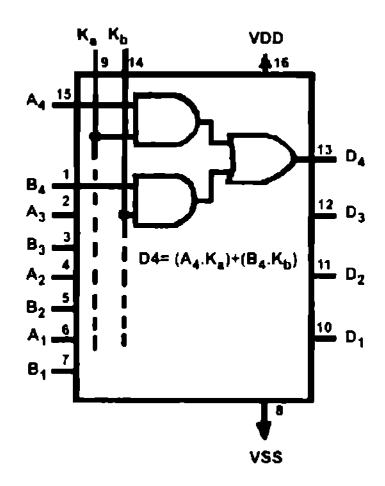
CD4017
Decoder Counter/Divider with
10 Decoder Decimal Outputs

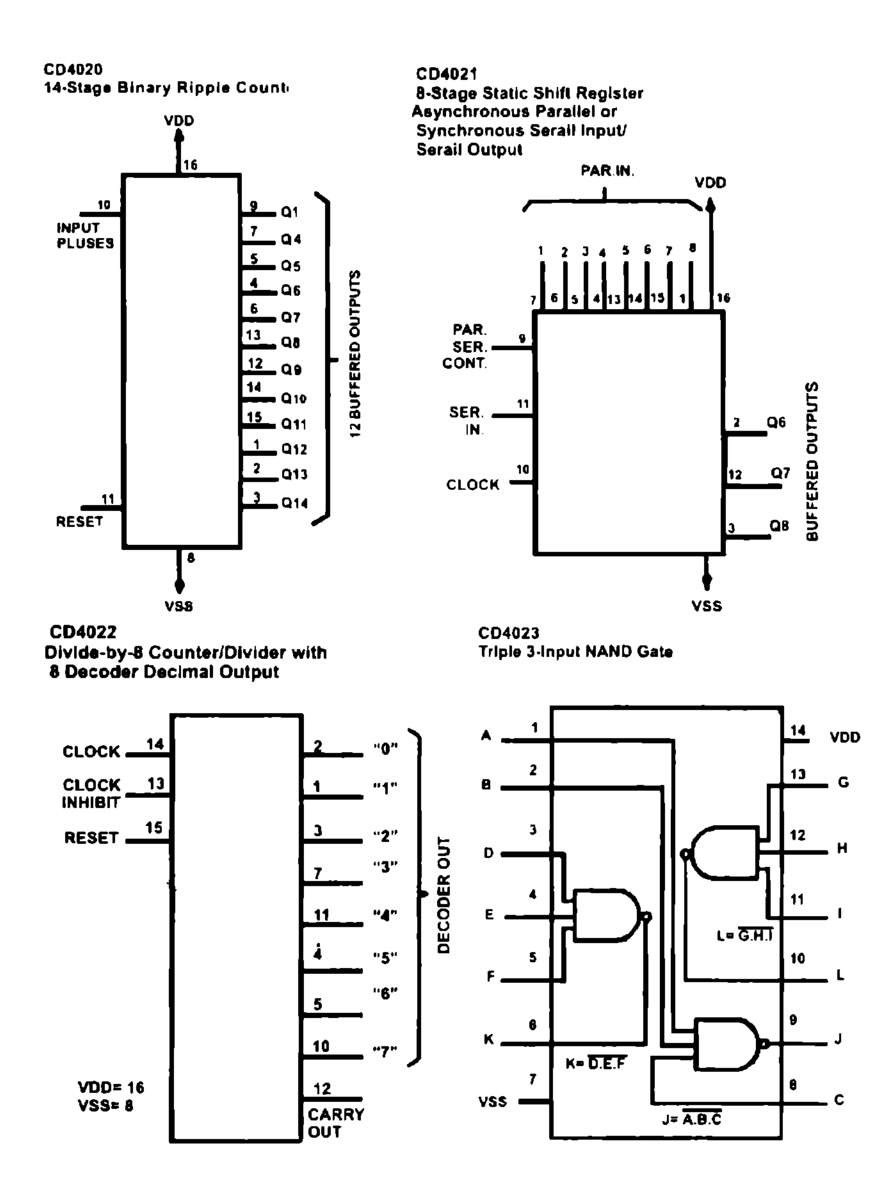


CD4018
Presettable Divide-by-"N"
Counter Fixed or Programmable

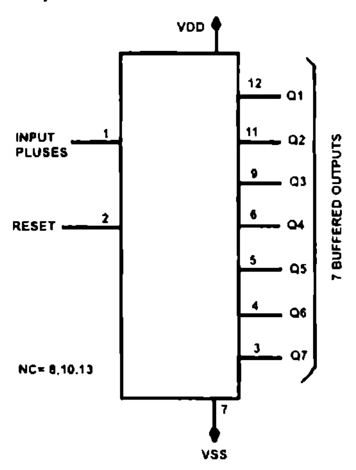


Cd4019
Quad AND/OR Select Gate

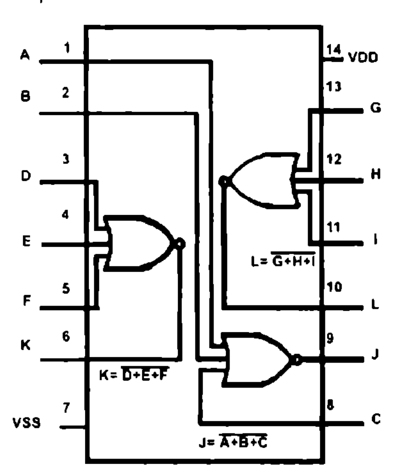



CD4020
14-Stage Binary Ripple Count
VDD
16
10
INPUT
PLUSES
9 Q1
7 Q4
5 Q5
4 Q6
6 Q7
13 Q8
12 Q9
14 Q10
15 Q11
1 Q12
2 Q13
3 Q14
12 BUFFERED OUTPUTS
11
RESET
8
VSS
CD4021
8-Stage Static Shift Register
Asynchronous Parallel or
Synchronous Serail Input/
Serail Output
PAR.IN.
VDD
1 2 3 4 5 6 7 8
7 6 5 4 13 14 15 1 16
PAR.
SER.
CONT.
9
SER.
IN.
11
CLOCK
10
2 Q6
12 Q7
3 Q8
BUFFERED OUTPUTS
VSS
CD4022
Divide-by-8 Counter/Divider with
8 Decoder Decimal Output
CLOCK 14
CLOCK INHIBIT 13
RESET 15
2 "0"
1 "1"
3 "2"
7 "3"
11 "4"
4 "5"
5 "6"
10 "7"
DECODER OUT
VDD= 16
VSS= 8
12
CARRY OUT
CD4023
Triple 3-Input NAND Gate
A 1
B 2
D 3
E 4
F 5
K 6
VSS 7
14 VDD
13 G
12 H
11 I
10 L
9 J
8 C
L= G.H.I
K= D.E.F
J= A.B.C

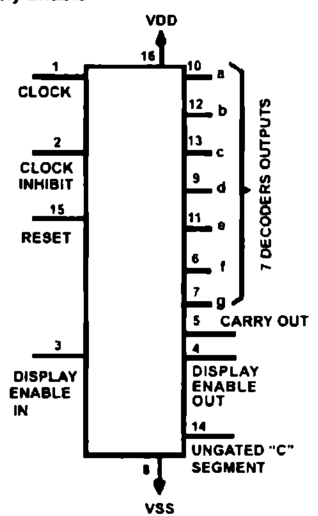
CD4024
7-Stage Ripple-CARRY
Binary Counter/Divider



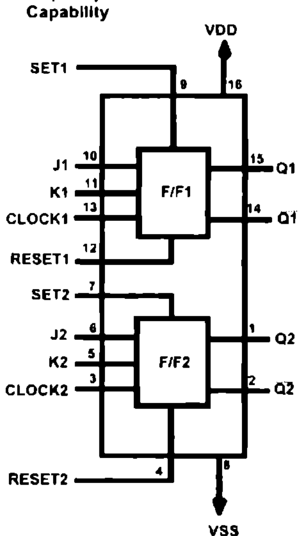
CD4025
Triple 3-INPUT NOR Gate



CD4026
Decade Counter/Divider with 7-Segment Display Outputs and Disply Enable



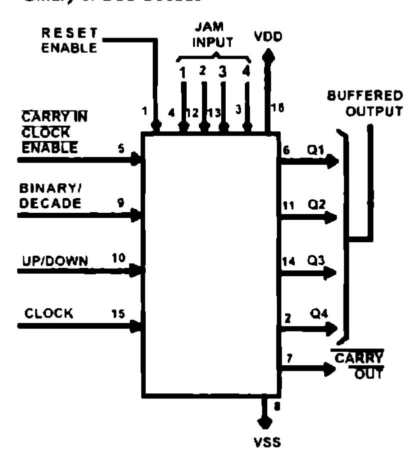
Cd4027
Dual J-K Master-Slave Flip-Flop with Set-Reset Capability



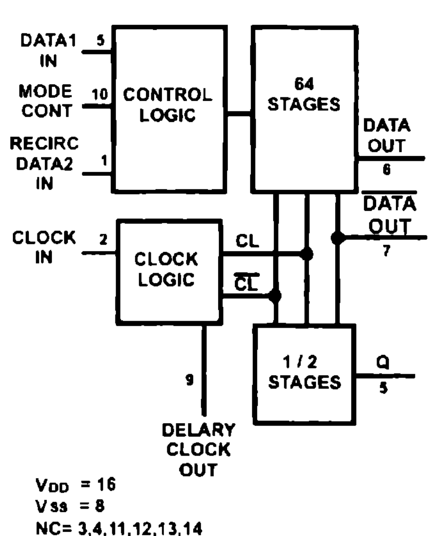
CD4208
BCD-to-Decimal Decoder

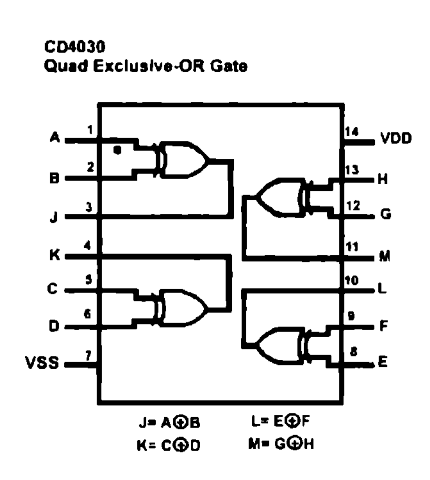
VDD
3-Bit BINARY IUPUTS
BCD INPUTS
10 A
13 B
12 C
11 D
3 14 2 15 1 6 7 4 9 5
BUFFERED OCTAL DECODED OUTPUTS (I OF 8)
BUFFERED DECIMAL DECODED OUTPUTS (1 OF 8)
8
VSS

CD4029
Presettable UP/DOWN Counter
Binary or BCD-Decade

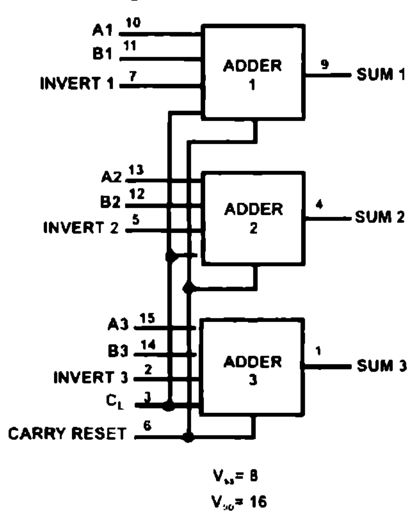


CD4031
64-Stage Static Shift
Register

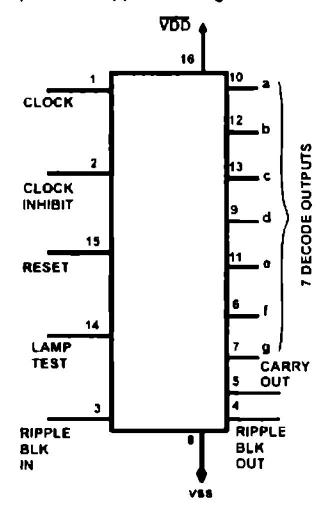




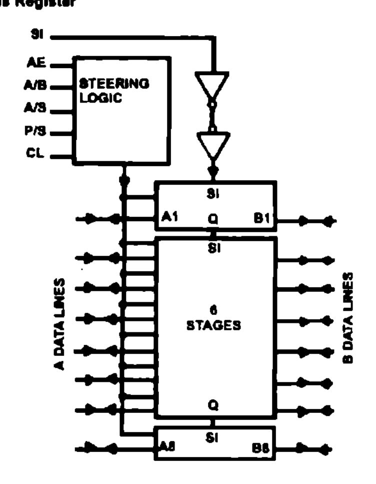
CD4032
Triple Serial Adder
Positive Logic



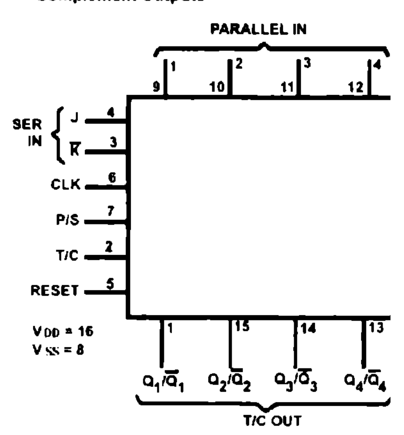
CD4033
Decade Counter/Divider
with 7-Segment Display
Outputs and Ripple Blanking



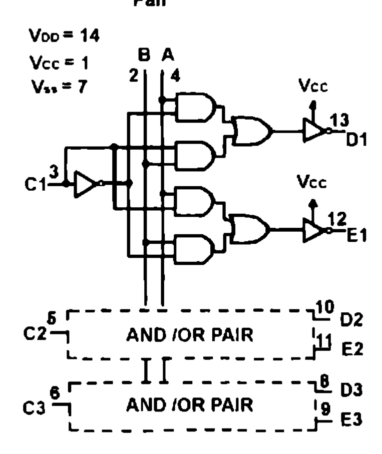
CD4034
8-Stage Static Bidirectional
Parallel/Serall Input/Ouput
Bus Register



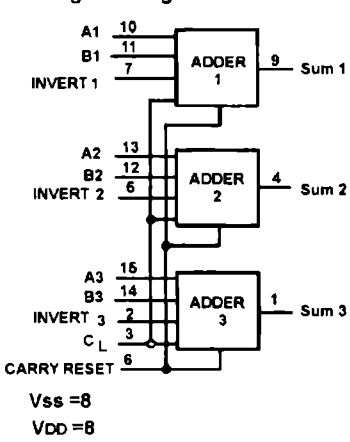
CD4035
4-Stage Parallel In/Parallel
Out Shift Register with
J-K Serall Inputs and True/
Complement Outputs



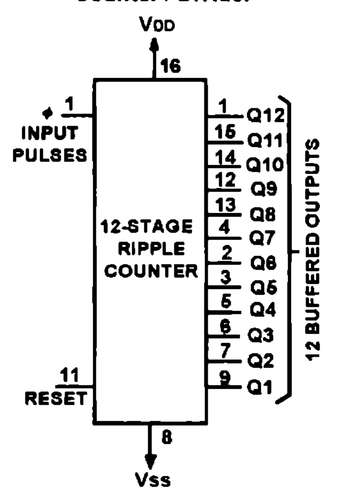
CD4037
Triple AND/OR BI Phase Pair



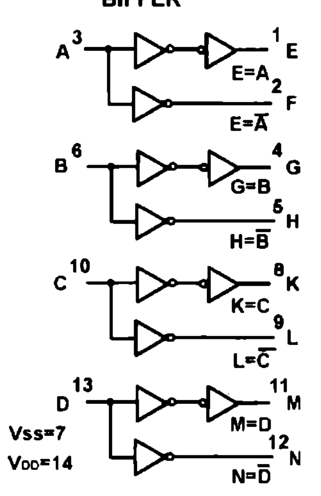
CD4038
Triple Serial Adder Negative Logic



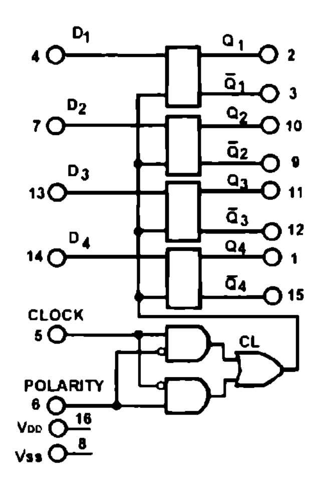
CD4040
12-Stage Ripple-Carry Binary Counter / Divider



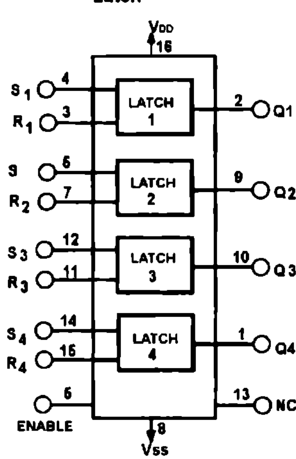
CD4041
Quand True / Complement BIFFER



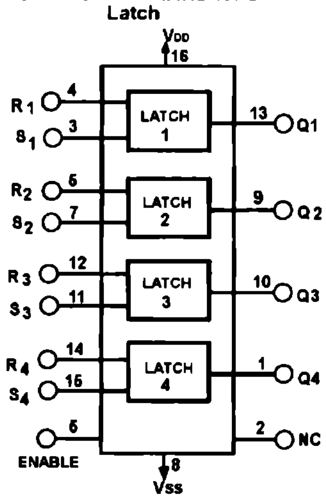
CD4042
Quad Clocked "D" Latch



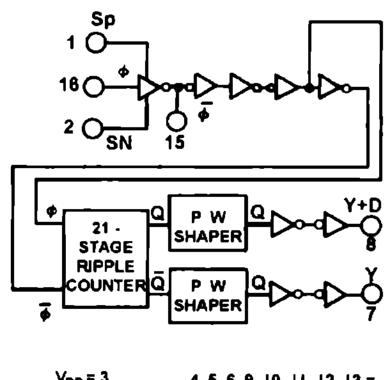
CD4043
Quand 3-State NOR R LS
Latch



CD4044
Quand 3-State NAND R / S
Latch



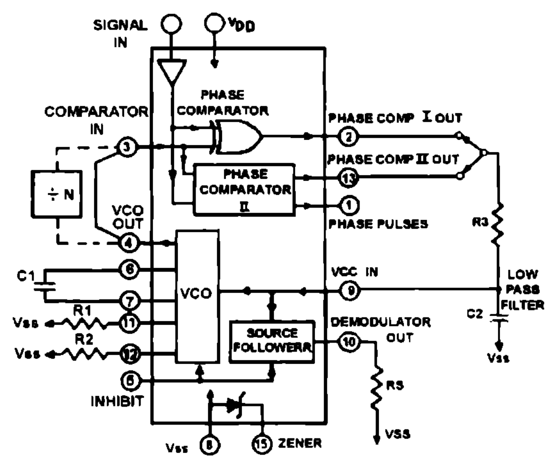
CD4045
21 - Stage Counter



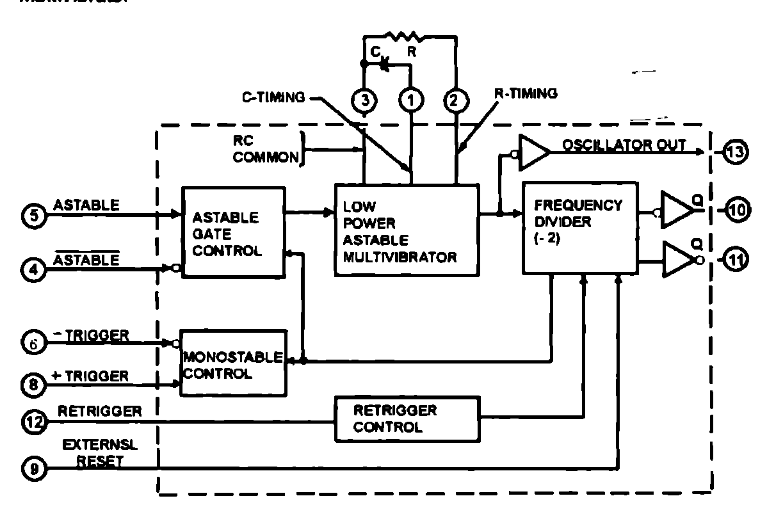
V_{DD} = 3
V_{SS} = 14

4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13 =
NO CONNECTION

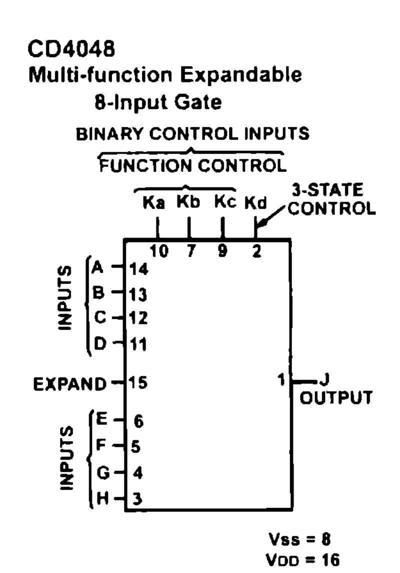
CD4046
Micropower Phase - locked Loop



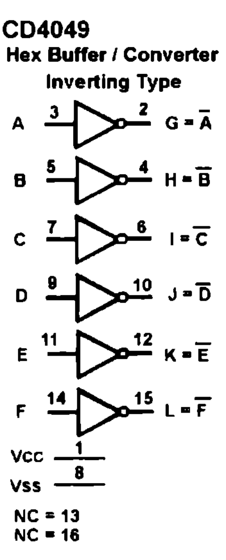
CD4047
LOW-Power Monostable/Astable Multivibrator



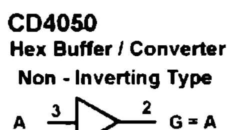
CD4048
Multi-function Expandable 8-Input Gate

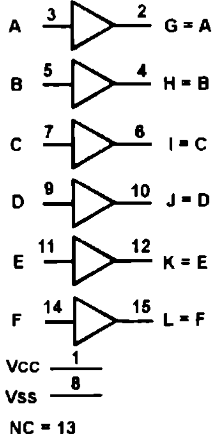


CD4049
Hex Buffer / Converter
Inverting Type

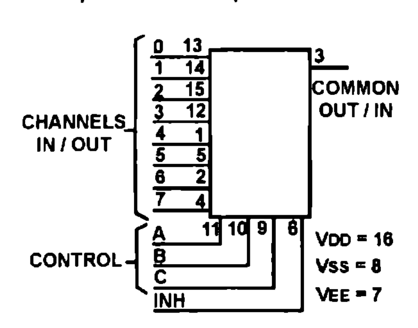


CD4050
Hex Buffer / Converter
Non - Inverting Type



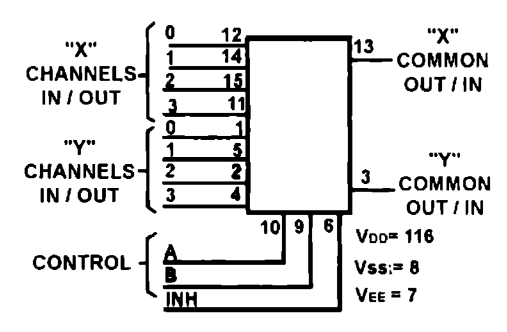


CD4051
Single 8 -Channel Analog Multiplexer / Demultiplexer



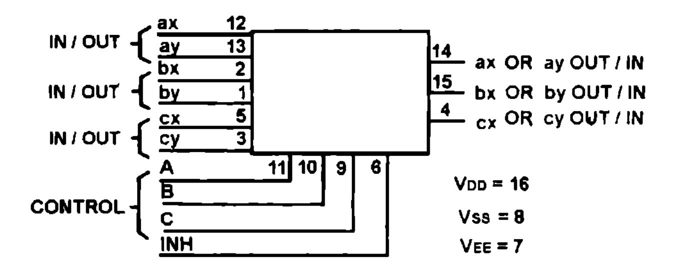
CD4052

Differencial 4 -Channel Analog Multiplexer / Demultiplaxer



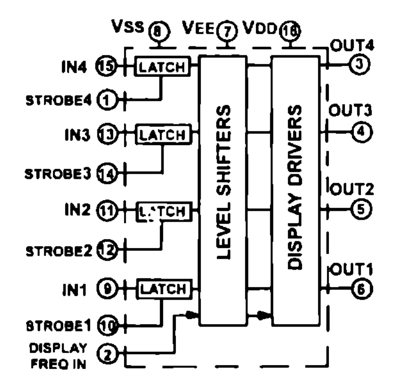
CD4053

Triple 2-Channel Multiplexer / Demultiplexer



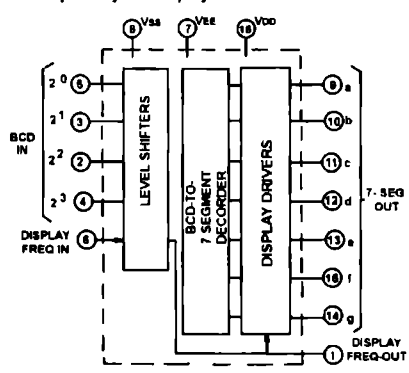
CD4054

4- Segment Liquid -Crystal Display Driver



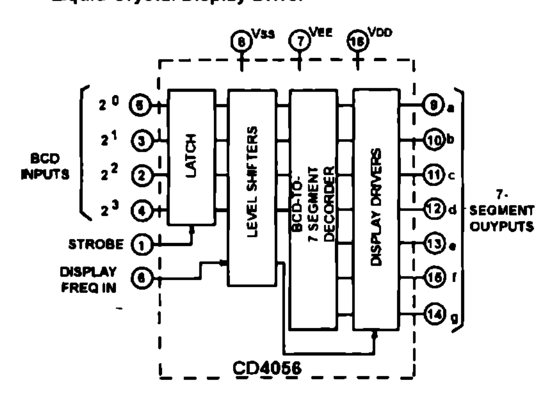
CD4055

BCD-To-7-Segment Decoder / Driver With "Display-Frequency"output Liquid-Crystal Display Driver

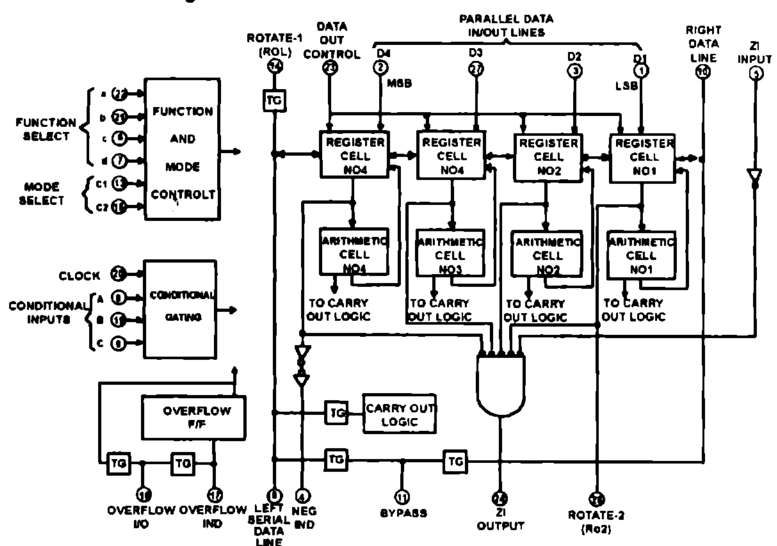


CD4056

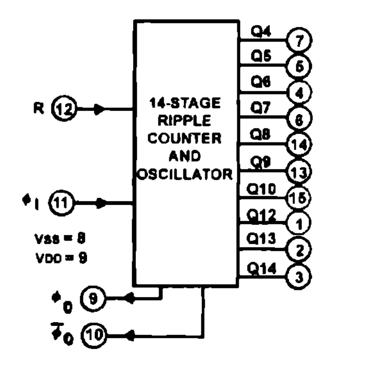
BCD-To-7-Segment Decoder / Driver With Strobed- Latch Function Liquid-Crystal Display Driver



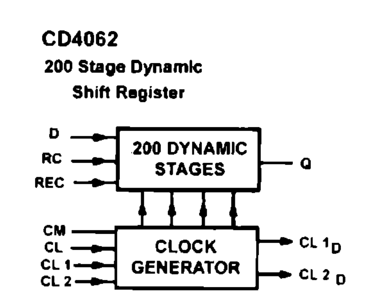
CD4057
4-Bit Arithmetic Logic Unit



CD4060
14-Stage Ripple-Carry Binary Counter /Divider. and Oscillator



CD4062
200 Stage Dynamic Shift Register



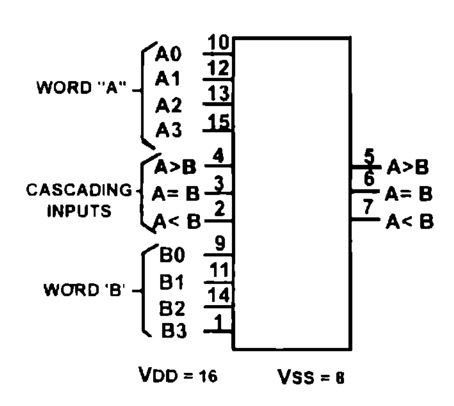
CD4066

Quand Bilateral Switch

IN / OUT 1 — SIG A — OUT / IN 2
OUT / IN 3 — SIG B — IN / OUT 4
CONT B 5
CONT C 6
Vss 7
14 VDD
13 CONT A
12 CONT D
11 IN / OUT — SIG D — 10 OUT / IN
9 OUT / IN — SIG C — 8 IN / OUT
SW A
SW D
SW B
SW C

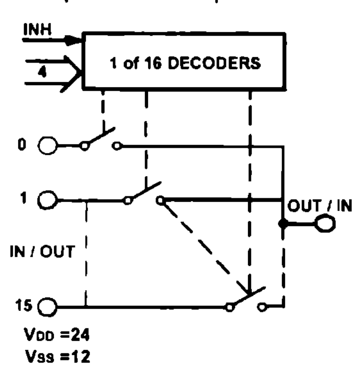
CD4063

4-Bite Magnitude Coparator



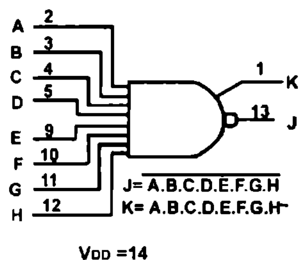
CD4067

16-Channel Multiplexer / Demultiplexer



CD4068

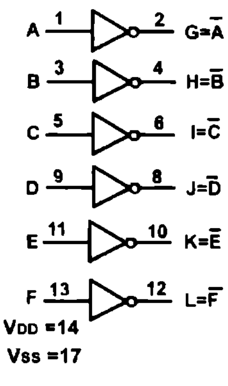
8- Input NAMD / AND Gate



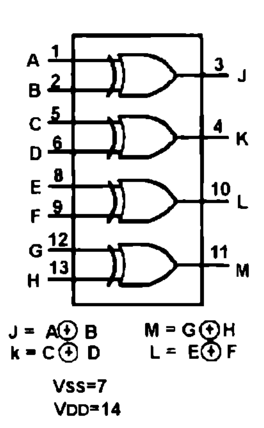
VDD =14

Vss =7 6 . 8 = NO CONNECTION

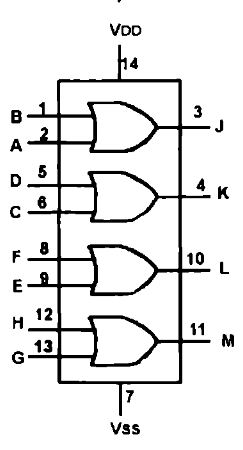
CD4069
Hex Inverter



CD4070
Quad Exclusive-OR Gate

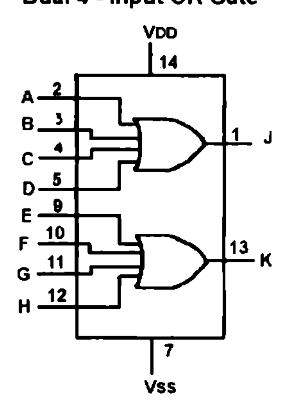


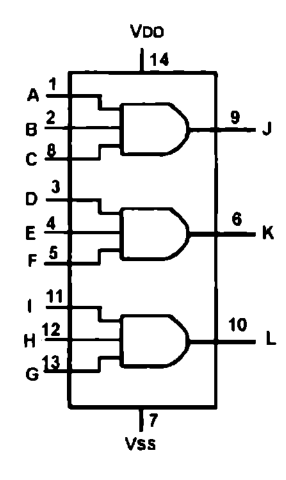
CD4071
Quad 2 - Input OR Gate



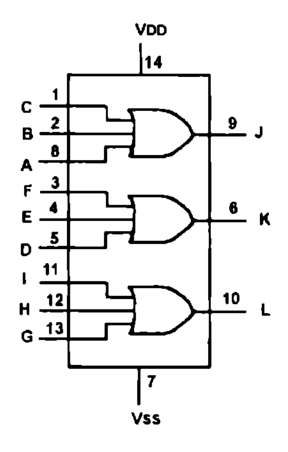
CD4073
Triple 3-Input AND Gate

CD4072
Dual 4 - Input OR Gate

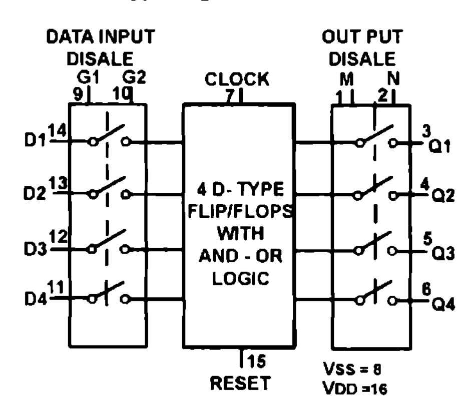




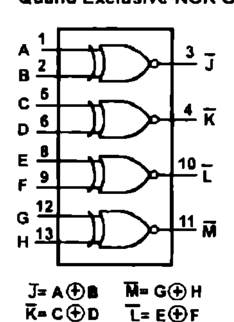
CD4075
Triple 3-Input OR Gate



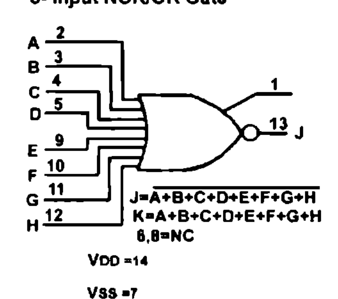
CD4076
4-Bit D- Type Register



CD4077
Quand Exclusive-NOR Gate

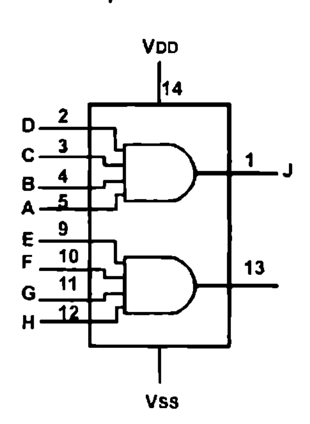


CD4078
8- Input NOR/OR Gate



CD4082

Dual 4-Input AND Gate

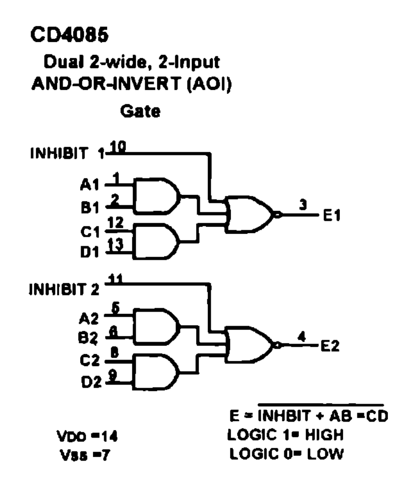


CD40 81

Quand 2-Input AND Gate

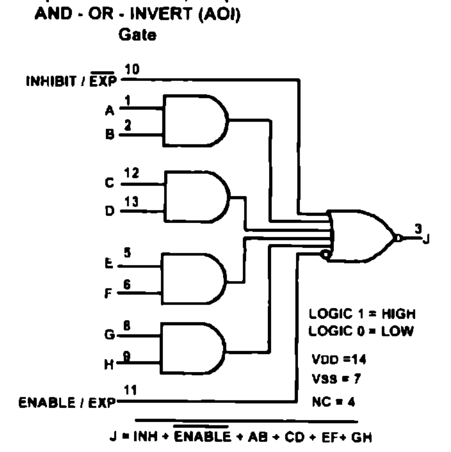
CD4085

Dual 2-wide, 2-Input AND-OR-INVERT (AOI) Gate



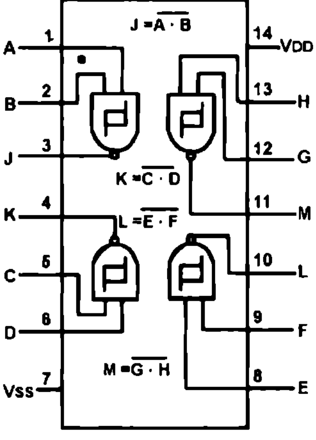
CD4086

Expandable 4-Wide, 2-Input AND - OR - INVERT (AOI) Gate



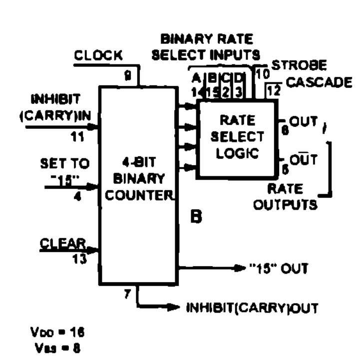
CD4093

Quand 2- Input NAND Schmitt Trigger



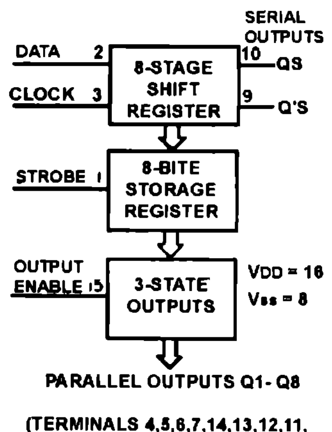
CD4089

Binary Rate Multipliter



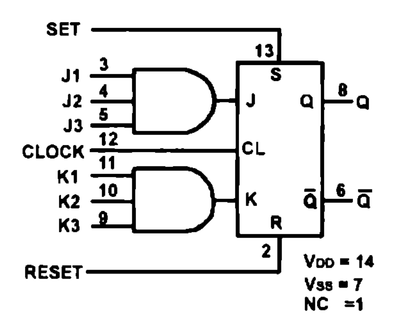
CD4094

8- Stage Shift- and-Store Bus Register



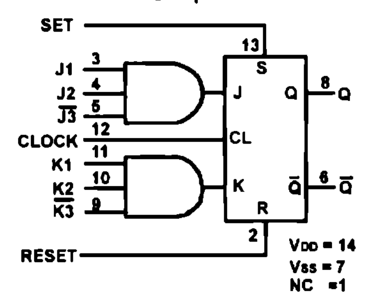
CD4095

Gated J-K Master - Slave Flip - Flop, Non - Inverting Inputs



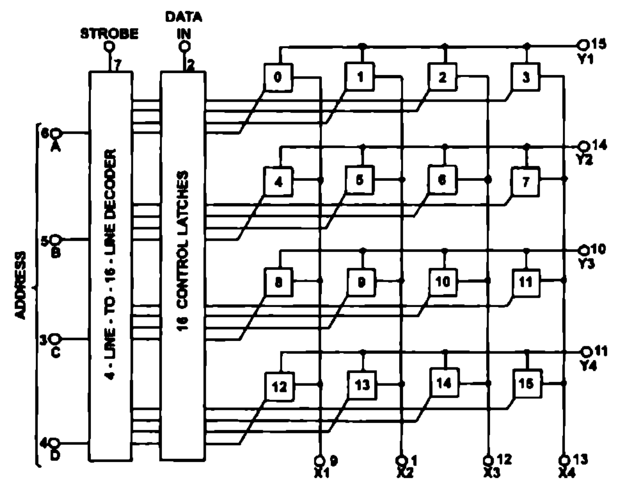
CD4096

Gated J-K Master - Slave Flip - Flop, Inverting and Non - Inverting Inputs

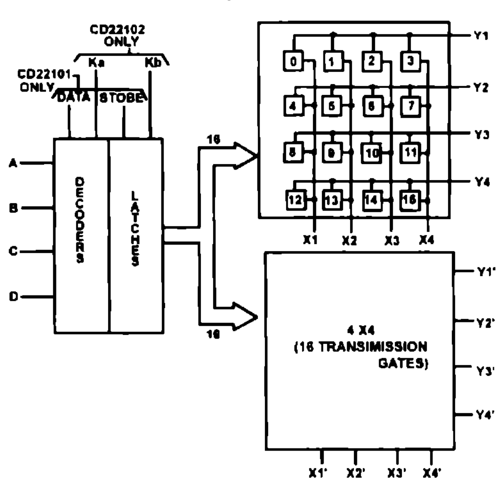


CD22100

4- by- 4 Crosspoint Switch with Control Memory

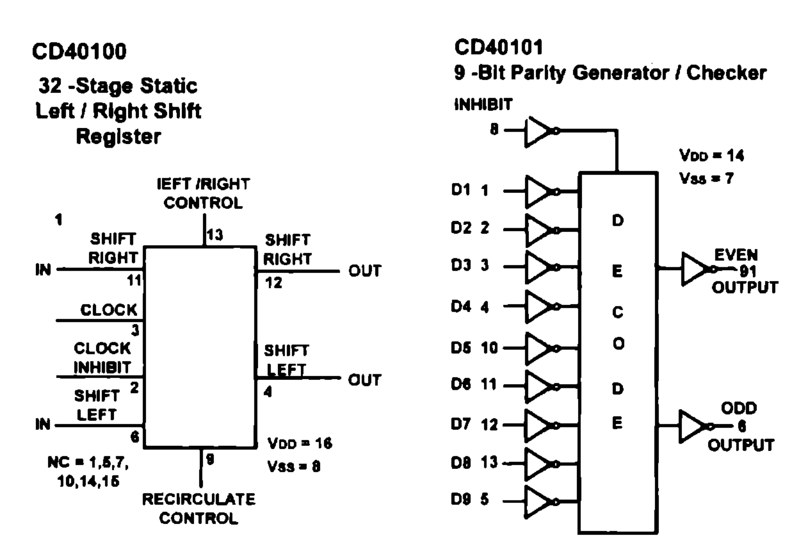


CD22101 CD22102
4-by- 4-by-2 Crosspoint Switch with Control Memory

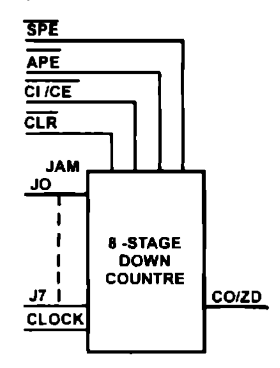


CD40100
32 -Stage Static Left / Right Shift Register

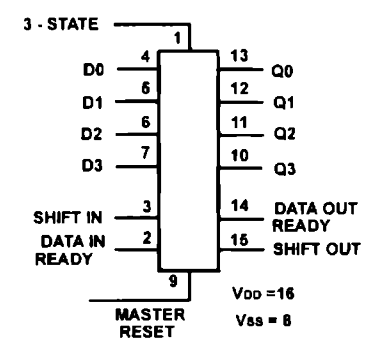
CD40101
9 -Bit Parity Generator / Checker



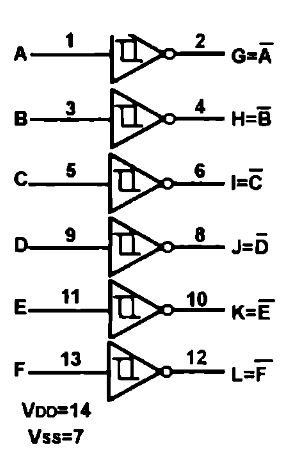
CD40102 2 -Decade BCD
CD40103 8 -Bit Binary
8 -Stage Presettable
Synchronous Down Counter



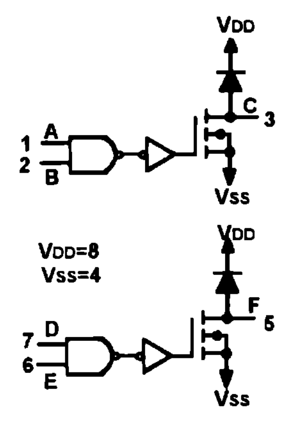
CD40105
FIFO Register
4 -Bits Wide by 16 - Bits Long



CD40106
Hex Schmitt Trigger

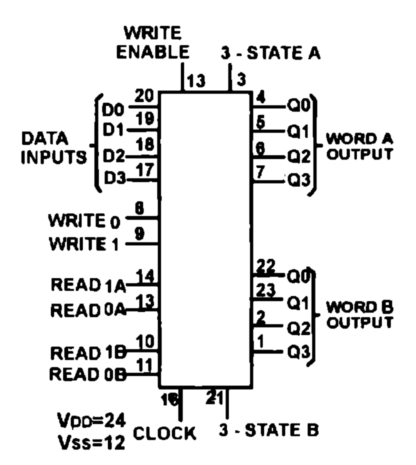


CD40107
Dual 2 -Input NAND
Buffer / Driver



CD40108

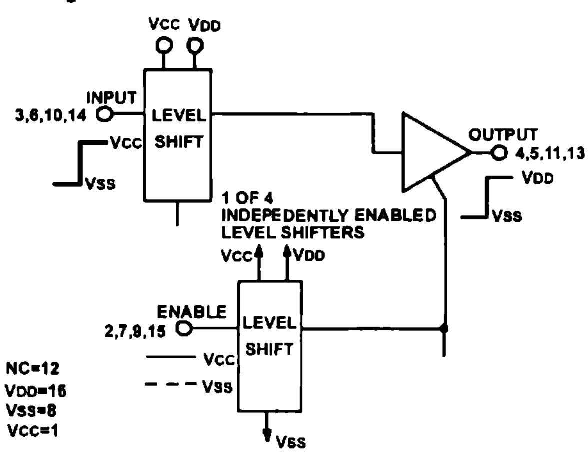
4-by-4Multiport Register



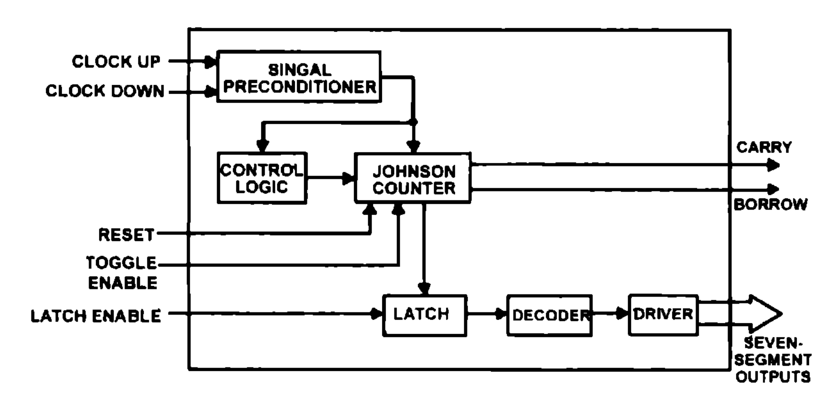
CD40109

Quad Low - to - High

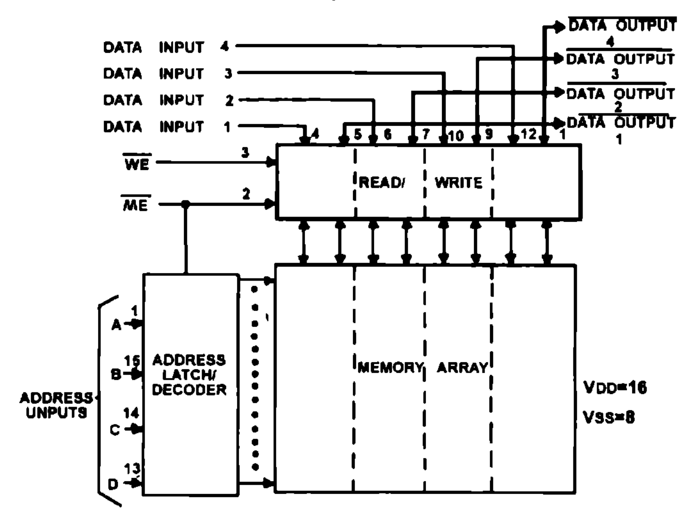
Voltage level Shifter



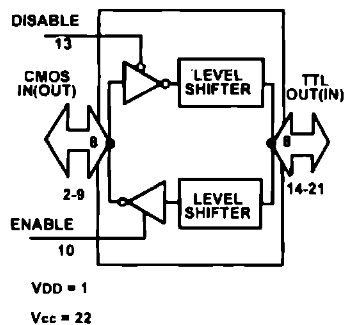
CD40110
Decade Up-Down Counter / Decorder / Latch / Driver



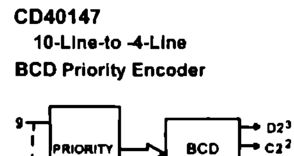
CD40114
64 - Bit Random- Access Memory



CD40115
8-Bit Bidirectional
CMOS/TTL Level Converter



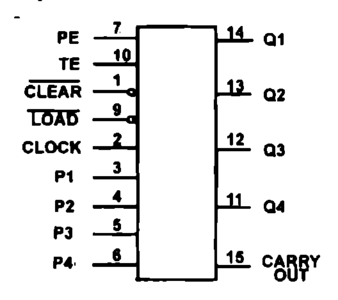
CD40147
10-Line-to -4-Line
BCD Priority Encoder

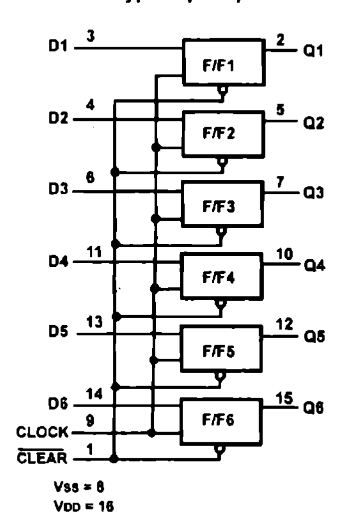


CD40174
Hex "D" Type Flip-Flop



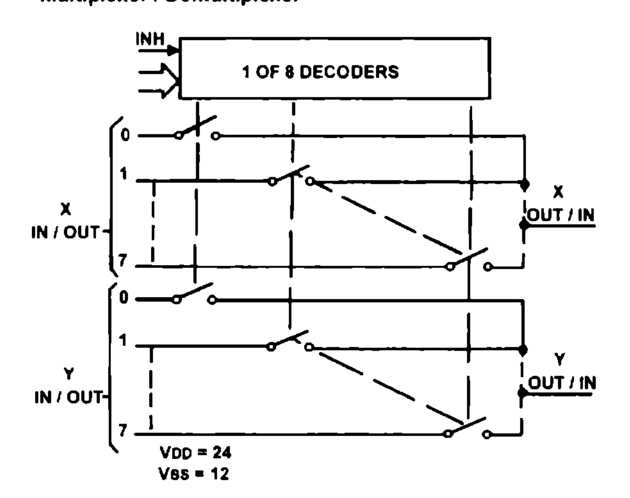
CD40160 Decade with Asynchronous Clear
CD40161 Binary with Asynchronous Clear
CD40162 Decade with Synchronous Clear
CD40163 Binary with Synchronous Clear
Synchronous 4-Bit Counter



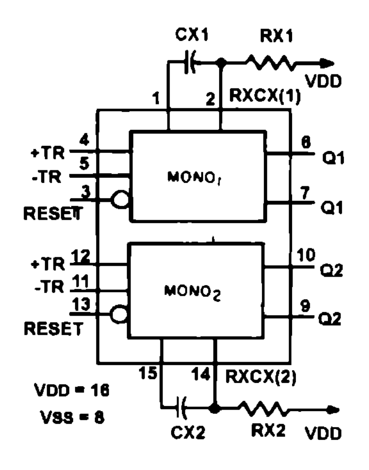


CD4097

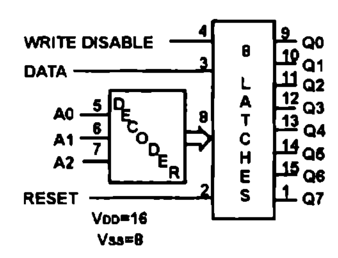
Differential 8-Channel Multiplexer / Demultiplexer



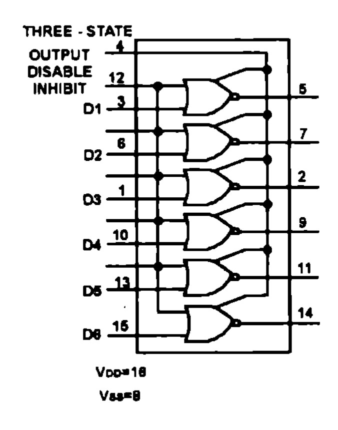
CD4098
Dual Monostable Multivibrator



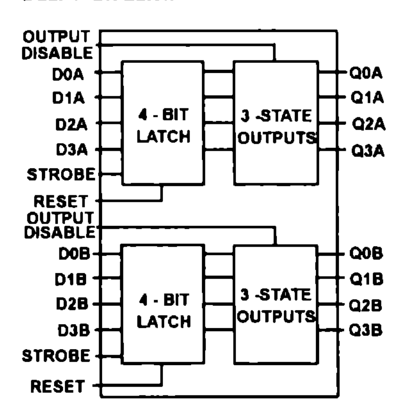
CD4099
8-Bit Addressable Latch



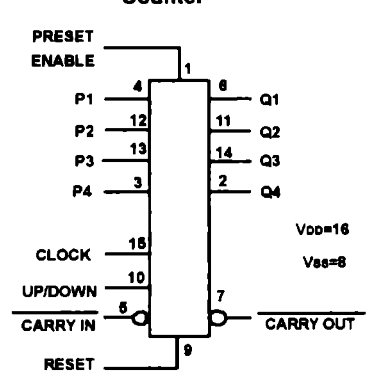
CD4502
Strobed Hex Inverter / Buffer



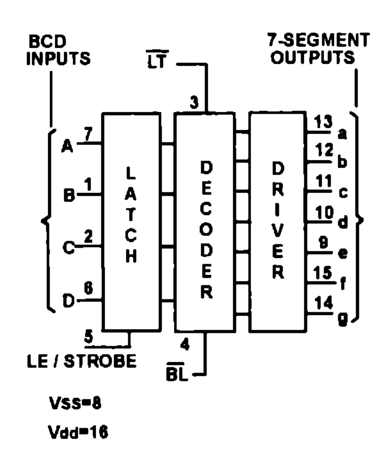
CD4508
Dual 4 -Bit Latch



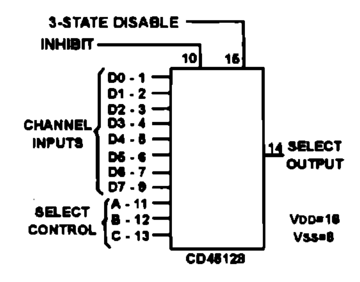
CD4510
BCD Presettable Up/Down Counter



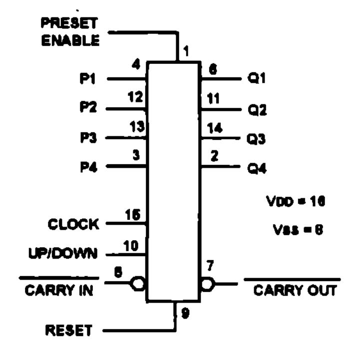
CD4511
BCD-to-7-Segment
Latch Decorder Driver



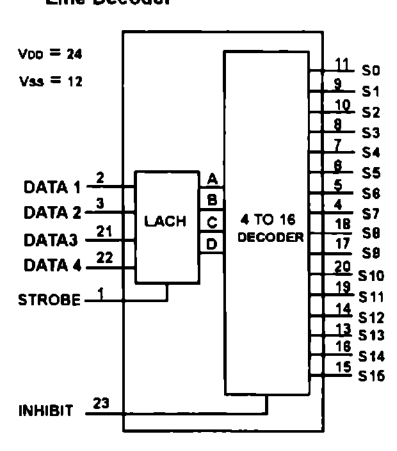
CD4512
8-Channel Data Selector



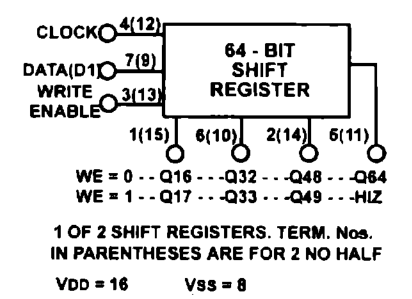
CD4516
Binary Presettable UP/Down Counter



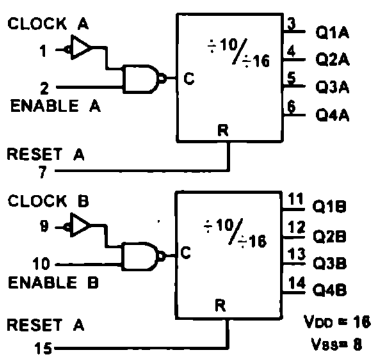
CD4514
CD4515 Output "Low" on Select
4-Bit Latch / 4-to-16 Line Decoder



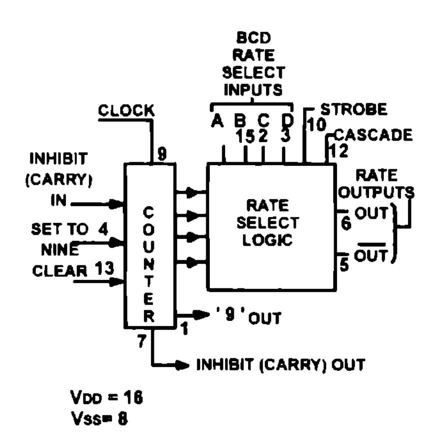
CD4517
Dual 64-Bit Shift Register



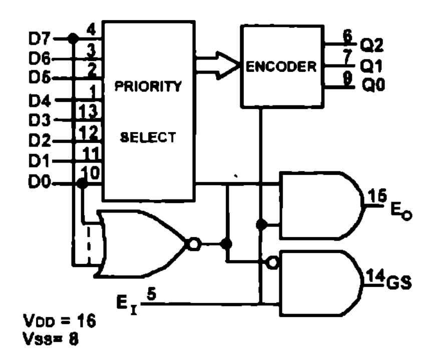
CD4518 BCD
CD4520 Binary
Dual Up Counter



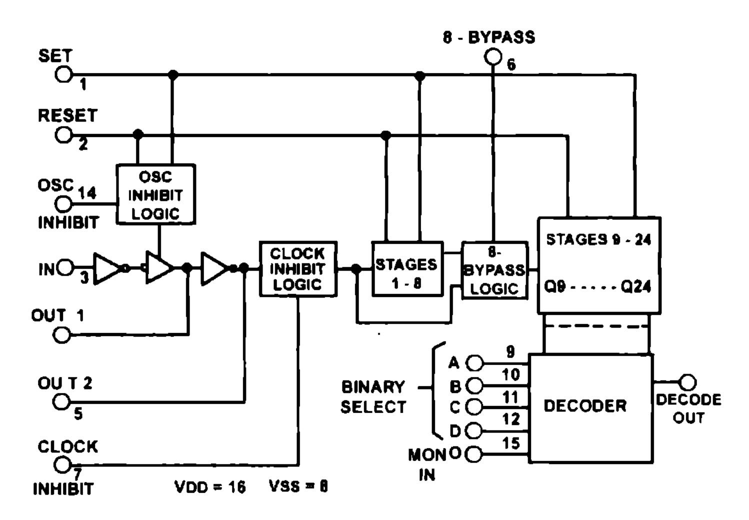
CD4527
BCD Rate Multiplier



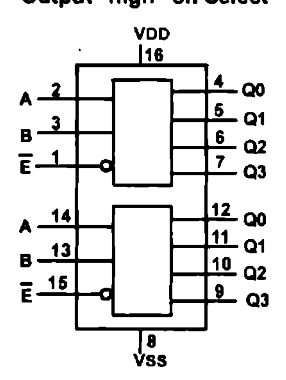
CD4532
8 -Bit Priority Encoder



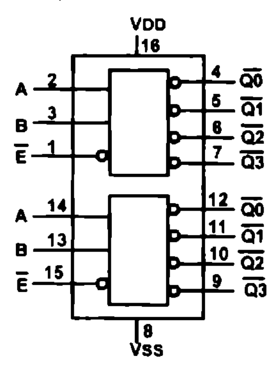
CD4536
Programmable Timer



CD4555
Dual Binary - to-1 - of - 4
Decorder / Demultiplexer
Output "high" on Select

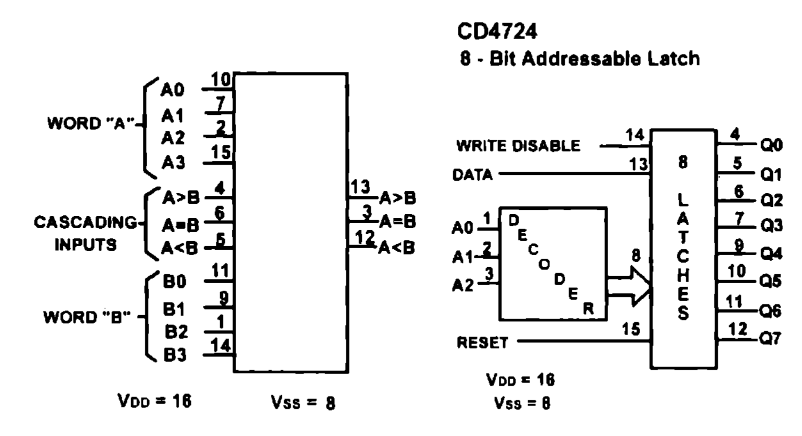


CD4556
Dual Binary - to-1 - of - 4
Decorder / Demultiplexer
Output "LOW" on Select



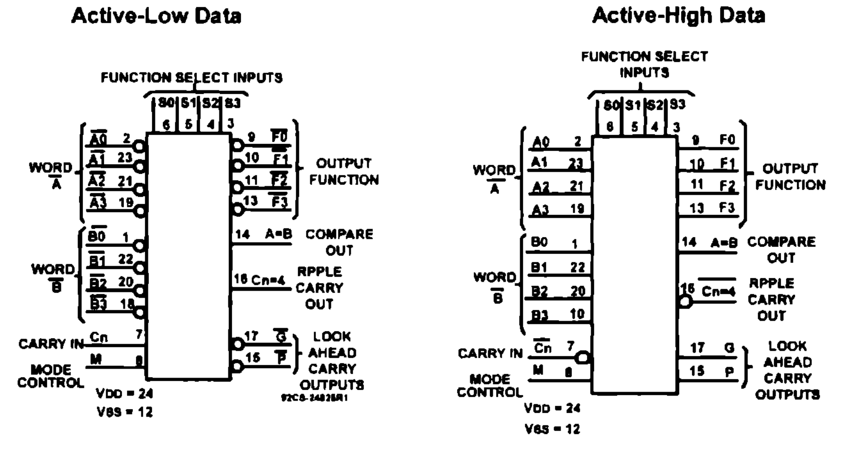
CD4585

4 - Bit Magnitude Comparator

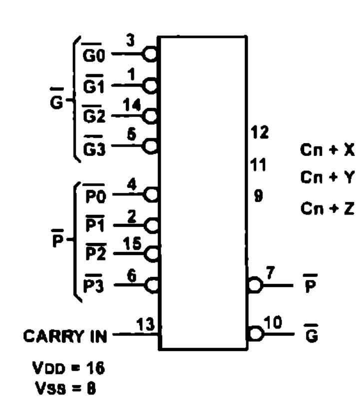


CD40181

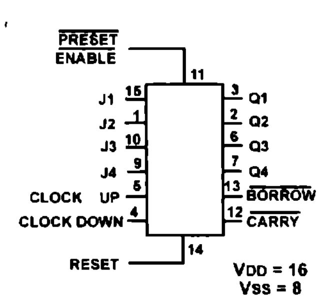
4 - Bit Arithmetic Logic Unit



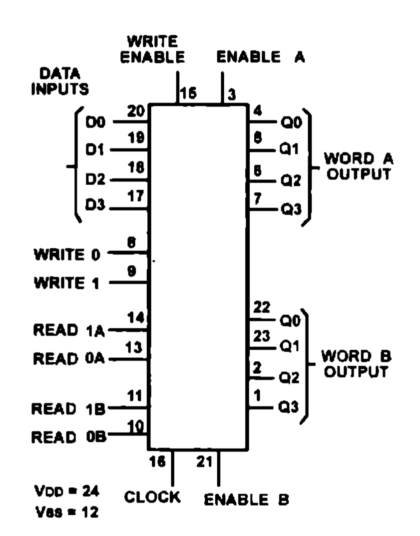
CD40182
Look-Ahead Carry Generator



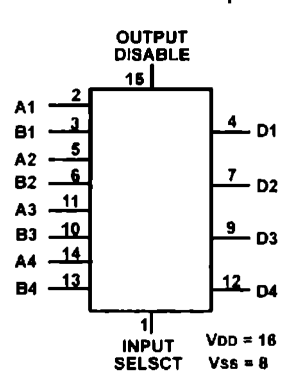
CD40192 BCD
CD40183 Binary
Presettable Up/Down Counter
(Dual Clock with Reset)



CD40208
4-by-4 Multiport Register



CD40257
Quad 2-Line-to-1-Line
Data Selector/Multiplexer



جدول المحتويات

8 التيار المستمر 111

10 المغناطيسية والمحولات 143

13 أنصاف النواقل 187

15 الموجات الكهرومغناطيسية وأنظمة الهوائيات 215

16 القياسات 231

17 المقاومات والمكثفات 243

18 المضخمات والتغذية العكسية 263

الملحق A: المزدوجة الحرارية 283

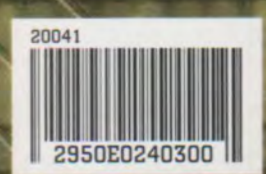
الملحق B: الرموز الكهربائية والالكترونية الأساسية 289

Electronics Portable Reference

الدليل السريع، العملي والمفيد في الإلكترونيات

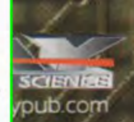
في هذا الدليل سوف تجد المعلومات اللازمة في:

- الواحدات الأساسية، التحويلات والثوابت والترميز الرياضي
- علم الجبر والمثلثات والمتتاليات والسلاسل
- المجموعات والتوابع والأشعة
- التفاضل والتكامل
- التيارالمستمر والمتناوب
- المغناطيسية والمحولات
- الإلكترونيات الرقمية
- التجاوب، المرشحات والضجيج
- أنصاف النواقل
- الصمامات الإلكترونية، المقاومات والمكثفات
- الموجات الكهرومغناطيسية وأنظمة الهوائيات
- القياسات
- المضخمات والتغذية العكسية
- ملاحق في: المزدوجة الحرارية، الرموز الإلكترونية، السوابق واللواحق في أسماء الدارات المتكاملة توزيع أرجل الدارات الرقمية المتكاملة نوع TTL و CMOS









ypub.com

